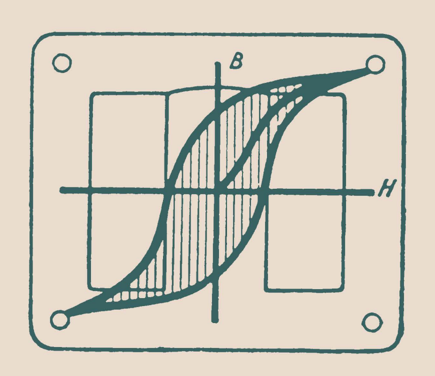


Г. И. РАБЧИНСКАЯ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ МАТЕРИАЛЫ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ПРИПОИ

Марка	Расшифровка марки	Примерный химический состав	Область применения
ПСр-12	Припой серебряный, серебра 12%	Ag = 12%, Cu = 36%, остальное Zn	Для пайки латуни с содержанием меди 58%
ПСр-25	Припой серебряный, серебра 25%	Ag = 25%, Cu = 40%, остальное Zn	Для тонких работ, когда требуется чистота места спая
ПСр-45	Припой серебряный, серебра 45%	Ag = 45%, Cu = 30%, остальное Zn	Для пайки медных и бронзовых частей
ПСр-70	Припой серебряный, серебра 70%	Ag = 70%, Cu = 26%, остальное Zn	Для пайки проводов в тех случаях, когда место спая не должно резко снижать электропроводность
ПОС-40	Припой оловянно-свинцовый, олова 40%	Sn = 39—40%, Sb = 1,5—2%, остальное Pb	Пайка латуни, железа и медных проводов
ПОС-30	Припой оловянно-свинцовый, олова 30%	Sn = 29—30%, Sb = 1,5—2%, остальное Pb	Пайка латуни, меди, железа, цинковых и оцинкованных листов, белой жести, приборов, радиоаппаратуры, гибких шлангов и т. п.
ПОС-18	Припой оловянно-свинцовый, олова 18%	Sn = 17—18%, Sb = 2—2,5%, остальное Pb	Пайка свинца, железа, латуни, меди, оцинкованного железа, лужение железа перед пайкой

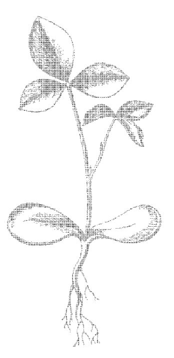
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 87

Г. И. РАБЧИНСКАЯ

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

(КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК)





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В брошюре кратко излагаются сведения о физико-механических и электрических свойствах основных материалов, с которыми может встретиться в своей практической деятельности квалифицированный радиолюбитель.

Сведения о материалах, приводимые в таблицах брошюры, могут оказать большую помощь инженерно-техническим работникам-практикам, занимающимся эксплоатацией и ремонтом радиотехнической аппаратуры и оборудования.

Брошюра рассчитана на читателя, знакомого с основами физики.

Редактор *С. С. Аршинов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 17/V 1950 г. Подписано к печати 16/XI 1950 г.
Бумага $84\times108^{1}/_{32}$ = $1^{3}/_{4}$ бумажных 5,74 п. л. 7 уч.-изд. л.
Т-09109 Тираж 25 000 экз. Зак. 159

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Итоги проведенных в Советском Союзе радиолюбительских выставок показывают, что работа наших радиолюбителей чрезвычайно многогранна. Радиолюбители, не довольствуясь изготовлением приемников, телевизоров и коротковолновых передатчиков, успешно осваивают спектр ультравысоких частот, настойчиво внедряют радиометоды в различные отрасли народного хозяйства, создают контрольно-измерительные аппараты и приборы, конструируют специальную аппаратуру для транспорта и т. п. В этой большой работе радиолюбителей немалую роль играют знание и умелое применение ими радиоматериалов.

Настоящий краткий справочник составлен главным образом для пополнения знаний радиолюбителей в области радиоматериалов, а также для оказания помощи среднему техническому персоналу радиопромышленности и связи, занимающемуся конструированием, ремонтом и эксплоатацией радиоаппаратуры

В справочнике приводятся основные физико-механические, магнитные и электрические свойства радиоматериалов, изготовляемых отечественной промышленностью, исследованных и в значительной части разработанных советскими учеными и специалистами.

Помимо сведений о радиоматериалах, в справочнике приводятся данные о различных вспомогательных материалах, которыми радиолюбители широко пользуются в своей работе (клеи, красители, припои и т. п.).

Для сокращения объема справочника и удобства пользования им основные параметры большинства рассматриваемых радиоматериалов сведены в таблицы.

ВВЕДЕНИЕ

Все применяемые радиоматериалы подразделяются на электроизолирующие, пьезоэлектрики, полупроводниковые, проводниковые и магнитные.

Область применения того или иного радиоматериала определяется диапазоном частот и атмосферными условиями, при которых данный материал должен работать.

В зависимости от области частот, в которой работают радиоматериалы, их подразделяют на низкочастотные и высокочастотные. Низкочастотные материалы предназначаются для работы при постоянном токе и в области звуковых частот, до 10—20 *кгц*. Высокочастотные материалы рассчитаны на работу при частотах выше 10—20 *кгц*.

Высокочастотные материалы в большинстве случаев работают неодинаково удовлетворительно во всем огромном спектре высоких частот. Поэтому высокочастотные материалы часто подразделяют на высокочастотные и ультравысокочастотные. Однако, такая разбивка не может быть произведена достаточно точно и однозначно. Отказываясь от нее, предпочитают при рассмотрении конкретных материалов указывать либо диапазон рабочих частот, либо свойства, позволяющие потребителю устанавливать целесообразность применения того или иного материала.

Низкочастотные материалы находят применение в усилителях низкой частоты, в цепях питания приемно-передающих устройств, в низкочастотных измерительных приборах. Высокочастотные материалы предназначаются для изготовления конденсаторов, катушек индуктивности, ламповых панелей, переключателей диапазонов, дросселей, трансформаторов и т. п., работающих при высоких частотах. С увеличением частоты возрастают требования, предъявляемые к качеству материалов. Высокочастотные материалы в большинстве случаев можно с успехом применять при низких частотах, однако, они дороги. Область применения низкочастотных материалов при высоких частотах более ограни-

чена. Влияние атмосферных условий на радиоматериалы и изделия из них определяется влажностью, температурой и давлением.

Поведение материалов в различных условиях влажности определяется водопоглощаемостью и гигроскопичностью. Так, все электроизолирующие материалы, имеющие водопоглощаемость, превышающую десятые доли процента, при повышенной влажности снижают удельное сопротивление в миллионы раз, и только материалы с нулевой водопоглощаемостью не меняют свои свойства при увлажнении. В качестве примера можно привести мрамор и битум. Водопоглощаемость мрамора 0,35%, битума — приближается к нулю. В сухом состоянии их удельное объемное сопротивление равно 10^{13} *ом см*; при увлажнении мрамора оно падает до 10^{7} *ом см*; при увлажнении битума — почти не изменяется.

Все электрические свойства радиоматериалов в той или иной степени изменяются от изменения температуры. С повышением температуры, как правило, увеличиваются диэлектрические потери, уменьшается пробивная прочность; удельное сопротивление электроизолирующих материалов уменьшается, проводников — увеличивается; изменяются диэлектрическая проницаемость (обычно возрастает) изоляционных материалов и магнитные свойства магнитных материалов. В области очень низких температур, близких к абсолютному нулю, сопротивление проводников становится неизмеримо малым — явление, получившее название сверхпроводимости.

Величину, на которую изменяется параметр данного материала при нагревании на 1° С, указывает температурный коэффициент. Материалы с температурным коэффициентом порядка 10^{-5} на 1° С можно считать стабильными, порядка 10^{-6} на 1° С — особо стабильными. Изделия из них в обычной практике не изменяют свои параметры при нагревании. Однако, в ряде элементов радиоаппаратуры, особенно работающей в диапазоне ультравысоких частот, к температурному коэффициенту предъявляются жесткие требования. Так, например, применение для контура задающего генератора передатчика ультравысоких частот деталей с температурным коэффициентом порядка 10^{-5} не может обеспечить в ряде случаев требуемой стабильности частоты, тогда как для коротковолнового передатчика указанный коэффициент обычно достаточен.

Изменение давления оказывает большое влияние на пробивную прочность воздуха. Это имеет существенное значение, потому что воздух служит электроизолирующей средой для многих радиодеталей и монтажа (см. главу Газообразные электроизолирующие материалы).

В заключение следует сказать, что при оценке радиотехнических материалов необходимо учитывать следующее:

1. Помимо температуры, влажности и давления, на электрические свойства материалов оказывает влияние частота. У основной массы электроизолирующих материалов с увеличением частоты падает величина пробивной прочности, в то время как тангенс угла потерь tg δ и диэлектрическая проницаемость ε могут изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

2. Основными электрическими параметрами при оценке электроизолирующих радиоматериалов являются тангенс угла потерь и диэлектрическая проницаемость. Чем меньше tg δ, тем лучше материал, так как потери мощности в нем уменьшаются с уменьшением tg δ. Но помимо tg δ, увеличению потерь способствует наличие большой емкости (см. определение тангенса угла диэлектрических потерь), а емкость определяется величиной диэлектрической проницаемости: чем больше ε, тем больше емкость. Следовательно, при конструировании радиоаппаратуры материалы с большой диэлектрической проницаемостью необходимо ставить в конденсаторах, а во всех остальных случаях брать материалы с малой величиной ε, чтобы не создавать паразитных емкостей. При высоких частотах материалы должны быть теплостойкими и иметь малый tg δ, иначе от сильного нагрева за счет активных потерь детали разрушатся.

Однако, следует учитывать, что в материалах деталей возбудителя температурный коэффициент может играть более существенную роль, чем tg δ. В аппаратуре, работающей на открытом воздухе, особенно в местностях с жарким и сырым климатом, главными параметрами могут быть водопоглощаемость и гигроскопичность.

3. При оценке магнитных материалов основными параметрами являются коэффициенты потерь на вихревые токи, перемагничивание и последействие. Для низкочастотных магнитных материалов решающее значение имеют потери на перемагничивание и последействие, для высокочастотных — коэффициент потерь на вихревые токи.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РАДИОМАТЕРИАЛОВ

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Гигроскопичность Γ показывает, какой процент влаги впитывает 1 *г* данного материала, помещенного в атмосферу, насыщенную водяными парами. Гигроскопичность подсчитывается по формуле:

$$\Gamma = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100 \; [\%],$$

где P_1 — вес образца материала, находившегося в течение 48 час. в атмосфере, насыщенной водяными парами (97% относительной влажности), в граммах;

P_2 — вес того же образца в сухом состоянии в граммах.

Водопоглощаемость B показывает, какой процент влаги впитывает 1 *г* данного материала, находясь в воде. Водопоглощаемость подсчитывается по формуле:

$$B = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100 \; [\%],$$

где P_1 — вес образца материала, находившегося в воде в течение 48 час., в граммах;

P_2' — вес того же образца материала в сухом состоянии в граммах.

Плотность D — это масса 1 $см^3$ плотного (без пор) материала (масса единицы объема), определяемая по формуле:

$$D = \frac{M}{V} \left[\frac{г}{см^3} \right],$$

где M — масса образца материала в граммах;

V — объем образца материала в кубических сантиметрах.

Объемный вес — это вес 1 $см^3$ материала вместе с порами; измеряется в $г/см^3$.

Объемный вес определяется по формуле плотности. Разница между плотностью и объемным весом заключается в том, что при определении плотности берется объем плотного образца, без пор, а при определении объемного веса объем определяется вместе с порами.

Удельный вес — отвлеченная величина, равная отношению массы материала к массе равного объема воды; удельный вес измеряется в $г/см^3$. Удельный вес обозначается d_α^β, где α—температура воды; β—температура материала. Вес 1 $см^3$ воды при 4° С равен 1 *г*. Следовательно, удельный вес с индексом $\alpha=4$ численно будет соответствовать плотности.

Температура плавления $T_п$ — температура, при которой материал переходит из твердого состояния в жидкое, измеряется в градусах стоградусной шкалы.

Температура размягчения $T_м$ — температура в градусах стоградусной шкалы мягкого состояния материала. Ее определяют различными способами для материалов, не имеющих определенной температуры плавления, а постепенно размягчающихся (битумы, стекла, смолы).

Допустимая рабочая температура T_p измеряется в градусах стоградусной шкалы. Это предельная температура, при которой материал может работать длительное время. Выше этой температуры он быстро разрушается.

Температура вспышки T_B —температура, при которой пары материала в смеси с воздухом загораются от приближения малого пламени (длиной 3—4 *мм*); измеряется в градусах стоградусной шкалы.

Температурный коэффициент *ТК*—величина, показывающая, насколько изменяется единица параметра данного материала или изделия при нагревании его на 1° С; измеряется в $\frac{1}{°C}$.

В справочнике встречаются следующие температурные коэффициенты: линейного расширения—TK_λ; диэлектрической проницаемости—TK_ε; сопротивления—TK_ρ; магнит-

ной проницаемости — TK_{μ}. Все приведенные температурные коэффициенты получаются на основании формулы:

$$TK = \frac{X - X_0}{(T - T_0)X_0} \left[\frac{1}{°C} \right],$$

где X - величина параметра при температуре T °C;

X_0 — величина параметра при температуре T_0 °C.

Температурный коэффициент положителен, если с увеличением температуры параметр материала увеличивается, и отрицателен, если с увеличением температуры параметр уменьшается.

Теплопроводность γ_T — способность материала проводить тепло. Теплопроводность—величина, обратная удельному тепловому сопротивлению:

$$\gamma_T = \frac{1}{\rho_T} \left[\frac{вт}{см\ °C} \right],$$

где: γ_T — теплопроводность в *вт*/° С *см*;

ρ_T — удельное тепловое сопротивление в $ом_T$ (тепловых омах), т. е. величина сопротивления, оказываемого тепловому потоку 1 *см*^{3} данного материала при условии прохождения потока параллельно одной из граней кубика материала.

Вязкость (условная) представляет собой время вытекания 200 *см*^{3} данного материала из прибора Энглера, отнесенное ко времени вытекания из того же прибора 200 *см*^{3} воды; измеряется в градусах Энглера—° Э.

Прибор Энглера состоит из двух латунных цилиндров, установленных один внутри другого. Испытуемый материал заливается во внутренний цилиндр до определенного уровня, отмеченного тремя остриями, и подогревается при помощи газовой горелки. По достижении требуемой температуры, оговариваемой в условиях испытания, в дне прибора открывается пробка, и испытуемый материал вытекает в стоящую под отверстием колбу. Вязкость в градусах Энглера получается при делении времени истечения 200 *см*^{3} материала на время истечения из того же прибора 200 *см*^{3} воды.

Испаряемость по отношению к эфиру—параметр, показывающий, насколько медленнее испаряется данный растворитель, чем серный эфир.

ГЛАВА ВТОРАЯ

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Прочность на разрыв σ_p определяется усилием в *кГ*, которое необходимо приложить к образцу материала сечением 1 *см*², чтобы разорвать его; подсчитывается по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{S}\left[\frac{кГ}{см^2}\right],$$

где F — приложенное усилие в *кГ* в момент разрыва;
S — площадь сечения разрываемого образца в квадратных сантиметрах.

Относительное удлинение при разрыве $У$ показывает, на какой процент по отношению к первоначальной длине удлинится образец данного материала в момент разрыва; измеряется в процентах, подсчитывается по формуле:

$$У = \frac{\Delta l}{l}\cdot 100\ (\%),$$

где Δl — величина, на которую удлинился образец материала в момент разрыва, в миллиметрах;
l — длина образца материала до испытания на разрыв в миллиметрах.

Относительное удлинение определяется одновременно с измерением прочности материала на разрыв. Оно показывает степень пластичности материала: чем больше относительное удлинение, тем пластичнее материал.

Прочность на сжатие σ_c определяется усилием, которое необходимо приложить к образцу данного материала сечением в 1 *см*², чтобы раздавить его. Прочность на сжатие измеряется в *кГ/см*², подсчитывается по формуле:

$$\sigma_c = \frac{F}{S}\left[\frac{кГ}{см^2}\right],$$

где F — величина раздавливающего образец материала усилия в *кГ*;
S — площадь сечения образца материала в квадратных сантиметрах.

Прочность на изгиб $\sigma_и$ определяется усилием, которое необходимо приложить к середине образца материала длиной 100 *мм* и сечением 1 *см*², чтобы образец

разломался на две части или согнулся на 90°. Измеряется в *кГ/см*². Для образцов прямоугольной формы подсчитывается по формуле:

$$\sigma_u = 1{,}5 \frac{F \cdot l}{bh^2} \left[\frac{кГ}{см^2} \right],$$

где F — приложенное усилие в момент разрушения или полного сгибания образца в *кГ*;

l — длина образца в сантиметрах;

h — высота образца в сантиметрах;

b — ширина образца в сантиметрах.

Прочность на удар (удельная ударная вязкость) A_y определяется работой, затрачиваемой на разламывание образца материала сечением в 1 *см*²; измеряется в *кГ/см*, подсчитывается по формуле:

$$A_y = \frac{F(h_1 - h_2)}{S} \left[\frac{кГ}{см} \right],$$

где $F(h_1 — h_2)$ — работа, затраченная на разрушение образца материала, в *кГ/см*, измеренная при помощи специального аппарата — маятника Шарпи;

S — сечение разламываемого образца материала в квадратных сантиметрах.

Твердостью принято считать сопротивление, оказываемое поверхностью материала давлению. Для определения твердости (по Бринеллю) стальной закаленный шарик диаметром 5 *мм* в течение 1 мин. вдавливается в поверхность данного материала. Твердость по Бриннелю измеряется в *кГ/мм*² и подсчитывается по формуле:

$$T_б = \frac{P}{S} \left[\frac{кГ}{мм^2} \right],$$

где P — вдавливающее усилие в *кГ*;

S — площадь поверхности оставленного шариком отпечатка в квадратных миллиметрах.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Удельное объемное сопротивление ρ_V — сопротивление, оказываемое постоянному электрическому току 1 *см*³ материала при условии направления тока параллельно одной из граней куба. Удельное объемное со-

противление определяется для всех радиоматериалов и подсчитывается по формуле:

$$\rho_V = R\frac{S}{l}\ [ом \cdot см],$$

где R — общее сопротивление измеряемого образца материала в омах;

S — площадь сечения измеряемого участка образца материала в квадратных сантиметрах;

l — длина образца материала в сантиметрах;

ρ_V — удельное объемное сопротивление, измеряемое в *ом·см*, для проволоки в *ом·мм²/м*.

Удельное поверхностное сопротивление ρ_S — сопротивление, оказываемое постоянному электрическому току 1 *см²* поверхности материала при условии направления тока параллельно одной из сторон квадрата измеряемой поверхности. Удельное поверхностное сопротивление измеряется в омах и определяется только для электроизолирующих материалов. Когда измеряемая поверхность материала имеет прямоугольную форму, величина удельного поверхностного сопротивления подсчитывается по формуле:

$$\rho_S = R\frac{a}{b}\ [ом],$$

где R — общее сопротивление поверхности образца материала в омах;

a — ширина измеряемой поверхности материала в сантиметрах;

b — длина измеряемой поверхности материала в сантиметрах.

Электропроводность γ—величина, обратная удельному объемному сопротивлению, измеряемая в $ом^{-1}\,см^{-1}$.

Пробивная прочность $E_{пр}$—напряжение, которое требуется для электрического пробоя (разрушения) данного материала при толщине образца в 1 *см*. Пробивная прочность определяется для электроизолирующих материалов и подсчитывается по формуле:

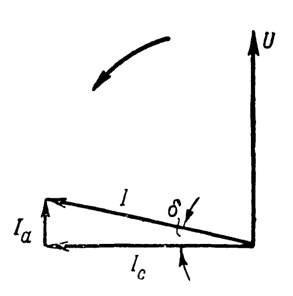
$$E_{пр} = \frac{U}{l}\left[\frac{кв}{см}\right],$$

где $E_{пр}$ — пробивная прочность материала в *кв/см*;

U — напряженче в момент пробоя образца в *кв* (киловольтах);

l — толщина образца материала в сантиметрах.

Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ — основной параметр электроизолирующих материалов, определяющий величину потерь, происходящих в электроизолирующем материале при работе его в электрическом поле, образованном переменным напряжением. Представим себе конденсатор емкостью C фарад, диэлектриком которого служит рассматриваемый электроизолирующий материал. Как известно из теоретической электротехники, если к конденсатору с не имеющим потерь диэлектриком приложить переменное напряжение, то через конденсатор будет проходить емкостный ток, опережающий напряжение на 90°, численно равный $I_c = U\omega C$, где U — величина напряжения, а ω — круговая частота приложенного напряжения. Однако, в действительности в диэлектрике имеют место потери, возникающие вследствие перераспределения электрических зарядов по объему диэлектрика, поворота молекул и в небольшой мере вследствие прямой проводимости. Эти потери можно представить как являющиеся следствием протекания между обкладками конденсатора тока — I_a, совпадающего по направлению с приложенным напряжением. Суммарный ток представляет собой векторную сумму (см. фиг. 1) токов I_c и I_a. Угол между суммарным током — I и емкостным током — I_c обозначается δ и называется углом потерь. В качестве основного параметра при определении достоинств электроизолирующего материала принят не угол потерь, а тангенс угла, так как мощность, теряемая в диэлектрике, равная $P_n = U^2\omega C \operatorname{tg}\delta$, прямо пропорциональна тангенсу угла диэлектрических потерь. Материалы с большим $\operatorname{tg}\delta$, порядка 0,08—0,1 и более, создают блоьшие потери мощности и являются плохими электроизолирующими материалами. Мате-



Фиг. 1. Векторная диаграмма распределения токов в электроизолирующем материале при переменном напряжении.

риалы с tg δ порядка 0,0001 являются лучшими электроизолирующими материалами. Большинство используемых электроизолирующих материалов имеет величину tg δ, лежащую между этими значениями.

Диэлектрическая проницаемость ε — параметр, характеризующий способность электроизолирующего материала образовывать емкость. Она показывает, во сколько раз емкость конденсатора с диэлектриком из рассматриваемого материала больше емкости такого же конденсатора, пластины которого помещены в вакуум, или в котором электроизолирующий материал заменен воздухом. Диэлектрическая проницаемость определяется после измерения емкости плоского конденсатора по формуле:

$$\varepsilon = \frac{3{,}6\pi l C}{S} \; [\text{мкмкф}],$$

где C — емкость конденсатора, в котором в качестве электроизолирующего материала установлен испытуемый материал, в микромикрофарадах;

S — площадь пластины конденсатора в квадратных сантиметрах;

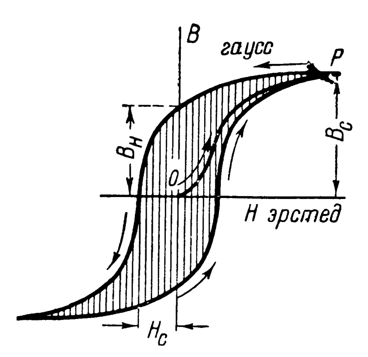
l — толщина электроизолирующего материала в сантиметрах.

Диэлектрическая проницаемость воздуха равна приблизительно единице.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Петля гистерезиса. Если взять образец материала в форме кольца, намотать на него некоторое число витков проволоки и через проволоку пропустить электрический ток, то вокруг витков проволоки возникнет магнитное поле, напряженностью H эрстед. Под действием этого поля материал намагнитится, т. е. в нем появится магнитная индукция B, измеряемая в гауссах. Меняя напряженность поля путем изменения величины электрического тока и измеряя соответствующие изменения магнитной индукции, получим зависимость, показанную на фиг. 2, которая называется петлей гистерезиса. Из данных петли гистерезиса получают приводимые ниже параметры материалов.

Индукция насыщения B_c — наибольшая величина индукции, которую можно получить в данном материале, в гауссах.

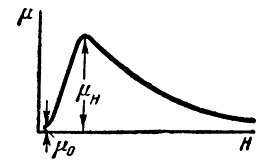


Фиг. 2. Петля гистерезиса.

Остаточная индукция $B_н$ — индукция, остающаяся в материале после снятия внешнего магнитного поля, в гауссах.

Коэрцитивная сила H_c — напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания материала, в эрстедах.

Магнитная проницаемость μ — параметр, показывающий, во сколько раз изменится магнитная индукция, когда вместо воздуха, для которого $\mu = 1$, в магнитное поле будет внесен данный материал. Магнитная проницаемость — величина переменная, зависящая от напряженности поля и частоты. Магнитную проницаемость подсчитывают на основании данных кривой намагничивания петли гистерезиса (фиг. 2, кривая OP) по формуле: $\mu = \frac{B}{H}$. Характер изменения величины магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля показан на фиг. 3. В качестве параметров материалов принимаются начальное и наибольшее значения магнитной проницаемости.



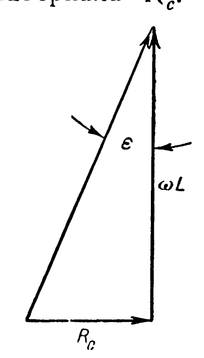
Фиг. 3. Изменение величины магнитной проницаемости от изменения напряженности магнитного поля.

Начальная магнитная проницаемость μ_0 — значение магнитной проницаемости в слабых полях, порядка 0,01 *эр*.

Наибольшая (максимальная) магнитная проницаемость $\mu_н$ — наибольшее значение магнитной проницаемости для данного материала.

Удельная магнитная энергия $Э_у$ — наибольшая магнитная энергия, которую можно получить в зазоре магнита объемом в 1 $см^3$, сделанного из данного материала. Удельная магнитная энергия измеряется в $эрг/см^3$.

Тангенс угла потерь $\operatorname{tg}\varepsilon$ — параметр, определяющий величину потерь в магнитном материале, помещенном в переменное магнитное поле, создаваемое переменным током. Значение величины тангенса угла потерь можно получить из данных треугольника сопротивлений (векторной диаграммы), показанного на фиг. 4, где ε — угол потерь, величина которого при неизменном индуктивном сопротивлении ωL зависит от сопротивления потерь материала R_c. Чем больше сопротивление потерь, тем хуже материал, так как тем большую он поглощает энергию, переходящую в тепло. Величину тангенса угла потерь получают из соотношения: $\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{R_c}{\omega L}$, где R_c — сопротивление потерь магнитного материала в омах; ωL — индуктивное сопротивление в омах.



Фиг. 4. Треугольник сопротивлений.

Величина сопротивления потерь складывается из суммы сопротивлений потерь на вихревые токи, перемагничивание и последействие. Для оценки величины потерь, создаваемых каждым из указанных явлений, пользуются следующими тремя коэффициентами потерь: коэффициентом потерь на перемагничивание, коэффициентом потерь на вихревые токи и коэффициентом потерь на последействие.

Коэффициент потерь на перемагничивание (гистерезис) $\delta_г$ равен отношению тангенса угла потерь на перемагничивание для данного материала к напряженности поля. Коэффициент потерь на перемагничивание определяется из соотношения:

$$\delta_г = \frac{R_г}{2\pi f L H},$$

где H — напряженность приложенного к образцу материала поля в эрстедах;

f — частота тока в обмотке в герцах;

L — индуктивность намотанной на образец материала обмотки в генри;

$R_г$ — сопротивление потерь, обусловленных перемагничиванием материала, в омах.

Коэффициент потерь на вихревые токи $\delta_ф$ равен тангенсу угла потерь на вихревые токи, отнесенному к частоте приложенных колебаний. Коэффициент потерь на вихревые токи определяется из соотношения:

$$\delta_ф = \frac{R_ф}{2\pi f^2 L},$$

где $R_ф$ — сопротивление потерь на вихревые токи в омах;
f — частота тока в обмотке в герцах:
L — индуктивность обмотки в генри.

Коэффициент потерь на последействие $\delta_п$ равен тангенсу угла потерь на последействие:

$$\delta_п = \frac{R_п}{2\pi f L},$$

где $R_п$ — сопротивление потерь на последействие, равное разности между общим измеренным сопротивлением потерь и суммой потерь на вихревые токи и перемагничивание;
f — частота колебаний тока в обмотке в герцах;
L — индуктивность обмотки в генри.

Приведенные выше коэффициенты потерь определяются при переменном токе. Чем они больше, тем больше потери магнитной энергии в материале.

———

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ
ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ
(ДИЭЛЕКТРИКИ)

ГЛАВА ПЯТАЯ
ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

1. КЕРАМИКА

Керамикой называются материалы, получаемые из минерального сырья путем спекания при высокой температуре. В процессе изготовления керамики составные части (кварц, глина, полевой шпат и т. п.) тщательно измельчаются и перемешиваются с водой. Из полученной массы путем прессования, отливки, протяжки, формовки с последующей обточкой, сверлением или без последующей обработки готовят изделия необходимой формы, которые затем обжигают в специальных печах при температуре порядка 1 300—1 400° С. В зависимости от назначения керамические материалы подразделяются на установочные, конденсаторные и пористые.

Установочная керамика применяется для изготовления установочных радиодеталей: ламповых панелей, антенных изоляторов, подвесных, проходных, опорных изоляторов и т. п. Лучшие сорта установочной керамики применяются также в качестве диэлектрика в конденсаторах небольшой емкости и в конденсаторах мощных контуров. Конденсаторная керамика идет для изготовления конденсаторов. Пористая керамика применяется для каркасов сопротивлений, электропечей, для крепления арматуры радиоламп. Керамические детали получают только в готовом виде. Сведения о различных видах керамики приводятся ниже.

Электрофарфор — низкочастотная установочная керамика, делается из глины, песка и полевого шпата. Основные недостатки электрофарфора: большие диэлектрические потери, сильно возрастающие при увеличении температуры; малая механическая прочность и невозможность изго-

товления деталей с высокой точностью. Преимуществами электрофарфора являются дешевизна и простота технологии изготовления. Из электрофарфора делают антенные оттяжные изоляторы, ролики, детали патронов, выключателей, предохранителей, изоляторы для подвески радиотрансляционных и высоковольтных линий электропередачи, изоляторы для силовых и мощных модуляторных трансформаторов и т. п.

Пирофиллит — высокочастотная установочная керамика, состоящая из минерала пирофиллита и глины. Пирофиллит отличается простой технологией изготовления. Недостатками его являются малая механическая прочность и низкая термическая стойкость. Из пирофиллита делают мелкие и средние радиодетали.

Радиофарфор — высокочастотная установочная керамика, изготовляемая из глины, углекислого бария и кварца. Радиофарфор имеет простую технологию изготовления. Из него делают крупные и мелкие радиодетали и применяют для изготовления высоковольтных конденсаторов.

Керамит — материал с большим содержанием чистой окиси алюминия. Керамит высокочастотная установочная керамика, позволяющая изготовлять радиодетали мелких и средних размеров.

Ультрафарфор — высокочастотная установочная керамика с простой технологией изготовления и большой механической прочностью. Из ультрафарфора делают крупные и мелкие радиодетали и контурные конденсаторы.

Радиостеатит — высокочастотная установочная керамика, содержащая тальк, глину и полевой шпат. Материал, обладающий большой механической прочностью. Из него делают контурные конденсаторы, мелкие и средние установочные детали.

Алюминоксид — высокочастотная установочная керамика, изготовляемая из чистой окиси алюминия. Алюминоксид имеет высокие изоляционные свойства и большую механическую прочность. Он отличается сложной технологией изготовления и позволяет производить детали только мелких размеров. Из алюминоксида делают специальные детали и конденсаторы большой реактивной мощности.

Тиконд — высокочастотная конденсаторная керамика (разработана в СССР Н. П. Богородицким), состоящая из двуокиси титана. Тиконд выпускается четырех марок: Т-80,

Т-60, Т-30 и Т-25 (цифра означает величину диэлектрической проницаемости).

Тиконд имеет большой отрицательный температурный коэффициент диэлектрической проницаемости. Поэтому тикондовые конденсаторы малой емкости используются для термокомпенсации.

Конденсаторы большой емкости иногда используются также для термокомпенсации (при последовательном включении в контур) и в случаях, когда большая абсолютная величина температурного коэффициента не играет роли, например, для блокировки и шунтирования.

Термоконд — высокочастотная конденсаторная керамика из двуокиси титана и двуокиси циркония. Имеет малый температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, поэтому конденсаторы из термоконда стабильны. Их применяют в колебательных контурах малой мощности.

Тиглин — высокочастотная конденсаторная керамика из корунда, рутила и глины. Из тиглина делают стабильные конденсаторы для колебательных контуров.

Титанат бария — низкочастотная конденсаторная керамика, полученная лауреатом Сталинской премии Б. М. Вулом из двуокиси титана и окиси бария. Титанат бария отличается большой диэлектрической проницаемостью, достигающей 6 000, большим температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости до $TK_{\varepsilon} = 10^{-2} \frac{1}{°C}$ и значительными диэлектрическими потерями — $\operatorname{tg} \delta = 0{,}02$. Пробивная прочность его 20 *кв/см*. Конденсаторы из титаната бария нестабильны, так как его диэлектрическая проницаемость в сильной степени зависит от температуры и приложенного напряжения. Их применяют вместо бумажных конденсаторов малой емкости.

Шамотная керамика — низкочастотная, пористая, предназначена для изготовления каркасов сопротивлений нагревательных элементов электропечей. Шамотная керамика делается из шамотной и сырой глины.

Кордиеритовая керамика — низкочастотная, пористая, состоит из талька, каолина, глины и корунда. Кордиеритовая керамика применяется там же, где и шамотная.

Физико-механические и электрические свойства керамических материалов даются в табл. 1 и 2 (стр. 22—23).

2. СТЕКЛА

Стеклами называются материалы, получаемые путем плавления окислов различных элементов. Главными операциями в производстве стекол являются варка стекла в специальных печах и производство изделий путем прессовки, выдувания или вытягивания.

В зависимости от электрических свойств стекла обычно подразделяются на три группы.

Группа 1. Щелочные стекла без тяжелых окислов. Это легкоплавкие стекла с плохими изоляционными свойствами (бывают исключения) типа бутылочных, оконных и стекла пирекс, имеющего малый температурный коэффициент расширения.

Группа 2. Щелочные стекла с большим содержанием окислов тяжелых металлов (PbO, TiO_2), с хорошими изоляционными свойствами. Это флинты, кроны, применяемые для изготовления конденсаторов — минос, стекло № 23; для баллонов и деталей радиоламп № 46, 23, 82 и т. п.

Группа 3. Бесщелочные стекла с высокими изоляционными свойствами. К этой группе стекол относится плавленый кварц.

Основные недостатки всех видов стекол — малая механическая прочность, резкое снижение удельного поверхностного сопротивления при увлажнении (ρ_s в сухом состоянии 10^{15} *ом*, в увлажненном — 10^8 *ом*) и снижение удельного объемного сопротивления при повышении температуры (с 10^{14} при 20° С, до 10^6 *ом·см* при 150° С).

Радиодетали из стекла поступают в готовом виде.

Свойства некоторых типов стекол даются в табл. 3.

Стекловолокно получается путем вытягивания расплавленного стекла через круглые отверстия. Из стеклянного волокна делают пряжу, ленты, ткани. Оно отличается высокой механической прочностью на разрыв (до 500 *кГ/мм*^{2}), малой водопоглощаемостью и большой теплостойкостью. Стекловолокно применяется как теплостойкая гибкая изоляция.

Стеклоэмали — стекла, наносимые тонким слоем на различные детали, например сопротивления, в целях предохранения их от разрушения. Стеклоэмали изготовляют в виде порошка, который наносится ровным слоем на изделие.

После этого изделие помещается в печь, где стеклоэмаль расплавляется и покрывает изделие ровным слоем. При

Свойства установочной и пористой керамики

Свойства	Единица измерения	Низкочастотная		
		шамотная	кордиеритовая	электрофарфор
Плотность	г/см³	1,9—2	2,1—2,2	2,4
Водопоглощаемость	%	10—15	2	0,0
Температурный коэффициент линейного расширения	1/°C	$6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Теплопроводность	вт/см°C	0,01	0,02	0,015
Прочность на изгиб	кГ/см²	300÷400	500÷1 000	450÷650
Прочность на разрыв	кГ/см²	—	—	200÷300
Прочность на сжатие	кГ/см²	—	—	4 000÷5 000
Прочность на удар	кГ/см	—	1,7÷2	1,7÷2
tg δ при $f = 10^6$ гц, при 20° C	—	—	—	0,01
при 100° C	—	—	—	0,026
Диэлектрическая проницаемость	—	—	—	5,5÷6
Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости	1/°C	—	—	$550 \cdot 10^{-6}$
Удельное объемное сопротивление при 100° C	ом·см	10^8	10^9	10^{11}
То же—при 300° C		10^6	10^7	$5 \cdot 10^6$
Пробивная прочность	кв/см	—	—	100÷200
Температура заметного роста потерь	°C	—	—	50

Свойства высокочастотной конденсаторной керамики

Свойства	Единица измерения	Тиконд Т-80	Тиконд Т-60
Плотность	г/см³	3,9	3,8
Водопоглощаемость	%	0,0	0,0
Температурный коэффициент линейного расширения	1/°C	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$
Теплопроводность	вт/°C см	0,03	0,03
Прочность на изгиб	кГ/см²	1 000—1 300	1 000—1 200
tg δ при 20° C	—	0,0003÷0,0006	0,0003÷0,0006
tg δ при 100° C	—	0,0006÷0,0009	0,0006÷0,0009
Диэлектрическая проницаемость	—	75÷80	55÷60
Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости	1/°C	$-(730 \pm 70)\ 10^{-6}$	$-(570 \pm 70)\ 10^{-6}$
Удельное объемное сопротивление при 100° C	ом·см	$10^{12}÷10^{13}$	$10^{12}÷10^{13}$
Удельное объемное сопротивление при 300° C	ом·см	$10^9÷10^{10}$	10^9
Пробивная прочность	кв/см	100	100

(по данным Н. П. Богородицкого)

Высокочастотная					
пирофиллит	радиофарфор	керамит	ультрафарфор	радиостеатит	алюминоксид
2,5	2,6	3,2	3,0	2,8	3,8
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$6,0\cdot10^{-6}$	$3,8\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$4,5\cdot10^{-6}$	$7,7\cdot10^{-6}$	$6\cdot10^{-6}$
0,015	0,015	0,06	0,05	0,02	0,15
500÷700	500÷700	1 200÷1 600	1 200÷1 600	1 200÷1 600	2 000÷3 000
250÷350	250÷350	450÷600	400÷550	450÷600	1 000÷1 500
4 000÷5 000	4 000÷5 000	6 000÷8 000	6 000÷8 000	6 000÷8 000	10 000÷20 000
1,7÷2	1,7÷2	3÷5	3÷4	3÷4	5÷10
0,007	0,003	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003
0,01	0,005	0,002	0,002	0,0008	0,0006
5,5÷6	6÷6,5	7,5÷8	7÷7,5	6÷6,5	10÷11
$400\cdot10^{-6}$	$180\cdot10^{-6}$	$150\cdot10^{-6}$	$120\cdot10^{-6}$	$110\cdot10^{-6}$	$120\cdot10^{-6}$
10^{12}	$5\cdot10^{13}$	10^{13}	$5\cdot10^{13}$	10^{14}	10^{16}
10^{8}	$5\cdot10^{9}$	$5\cdot10^{10}$	$5\cdot10^{10}$	10^{12}	10^{12}
150	150÷200	150÷200	150÷200	200÷250	150÷200
100	200	200	200	200	300

Таблица 2

(по данным Н. П. Богородицкого)

Тиконд Т-30	Тиконд Т-25	Термоконд ТК-М	Термоконд ТК-П	Тиглин
3,3	3,9	4,0	2,9	3,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$6,5\cdot10^{-6}$	$6,4\cdot10^{-6}$	$5,8\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$5,8\cdot10^{-6}$
0,035	0,03	0,035	0,04	0,03
1 000—1 200	800—1 000	1 000—1 200	900—1 000	1 000—1 200
0,0006÷0,0009	0,0003÷0,0006	0,0003÷0,0006	0,0003÷0,0006	0,0006÷0,0009
0,0008÷0,0009	0,0006÷0,0008	0,0006÷0,0008	0,0006÷0,0008	0,0009÷0,002
25÷30	25÷30	20÷25	15÷20	12÷14
$-(300\pm50)10^{-6}$	$-(130\pm50)10^{-6}$	$-(50\pm20)\,10^{-6}$	$+(30\pm30)\,10^{-6}$	$-(40\pm20)\,10^{-6}$
$10^{12}\div10^{13}$	$10^{12}\div10^{13}$	10^{13}	10^{13}	10^{13}
$10^{9}\div10^{10}$	10^{10}	10^{10}	$10^{10}\div10^{11}$	$10^{10}\div10^{11}$
100	100	100÷150	100÷150	100÷150

Свойства стекол

Таблица 3

Свойства	Единица измерения	Низкочастотные			Высокочастотные			
		щелочные типа оконных и бутылочных (№ 82, 46 и т. п.)	плавленный базальт	пирекс (калиевый)	минос	№ 23-Л	кварц плавленный прозрачный	кварц плавленный непрозрачный
Плотность	*г/см*^{3}	2,5÷2,6	3	2,2	3,6	3,6	2,2	2,07
Температура размягчения	°C	500÷600	1 200	500÷600	—	—	1 710	1 710
Прочность на разрыв . .	*кГ/см*^{2}	300÷500	400÷600	400	—	—	500÷600	150÷200
Прочность на сжатие . .	*кГ/см*^{2}	6 000÷10 000	6 500÷8 500	8 000	—	—	20 000	2 000÷4 000
Диэлектрическая проницаемость	—	5,3÷7,5	12	5,3÷5,7	7,5	10,3	3,5	3,2
Удельное объемное сопротивление	*ом. см*	10^{14}	10^{14}	$10^{11}÷10^{12}$	10^{13}	10^{13}	10^{16}	10^{16}
Удельное поверхностное сопротивление:								
30% влажности . . .	*ом*	10^{14}	10^{13}	10^{14}	10^{12}	10^{13}	10^{15}	10^{15}
90% влажности . . .	*ом*	10^{8}	10^{7}	10^{8}	10^{8}	10^{8}	10^{8}	10^{8}
tg δ $f = 50$ *гц*	—	0,024÷0,04	0,02	0,0065	0,0009	0,0006	0,0003	0,0005
tg δ $f = 10^6$ *гц*	—	0,008÷0,015	—	0,005	0,0012	0,0012	0,0003	0,0005
Пробивная прочность . . .	*кв/см*	100÷150	30÷60	100÷150	350	350÷400	350÷400	120÷200
Температурный коэффициент линейного расширения — $TK_\lambda \cdot 10^{-7}$	1/°C	28÷90	40	11	27	27	1,75	1,75

подборе стеклоэмали необходимо учитывать температурный коэффициент расширения. Он должен быть одинаковым у стеклоэмали и изолируемого изделия, иначе при резком изменении температуры стеклоэмаль растрескается.

3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Слюда. Под этим названием объединяется группа минералов, имеющих слоистое строение и расщепляющихся на тонкие пластинки. В технике изоляционных материалов применяются два вида слюды — мусковит и флогопит. Флогопит — коричневая слюда, выдерживающая высокую рабочую температуру (до 800° С). Флогопит применяется для изготовления оснований электронагревательных элементов. Мусковит — желтая слюда, обладающая высокими изоляционными свойствами, применяется в качестве высокочастотной изоляции в виде шайб, прокладок, в слюдяных конденсаторах и для крепления арматуры радиоламп. Для целей радиотехники идет только чистая слюда, без пятен, так как наличие пятен резко снижает ее изоляционные свойства. Если чистая слюда имеет $\operatorname{tg}\delta = 0{,}0005$, $\rho_V = 10^{15}$ *ом см*, то у пятнистой эти величины соответственно могут достигать значений $\operatorname{tg}\delta = 0{,}04$ и $\rho_V = 10^8$ *ом · см*. Слюда выпускается в виде пластин размером от 230 до 4 *см*², толщиной от 0,005 *мм* и более. Крупные пластины дороги и встречаются редко. Слюда режется ножницами и штампуется вырубными штампами.

Сера — минерал серовато-желтого цвета, плавящийся при 120—140° С, воспламеняющийся при 250° С. Сера — высокочастотный материал, применяемый для заливки конденсаторов.

Янтарь — ископаемая смола, имеющая высокие изоляционные свойства при температуре порядка 20—30° С. При более высокой температуре изоляционные свойства его резко ухудшаются. В отдельных случаях янтарь применяется в качестве изоляции в эталонных приборах и аппаратах.

Асбесты — группа минералов, имеющих волокнистое строение. В электроизоляционной технике применяют хризотиловый асбест. Оценка асбеста ведется по длине волокна: чем длиннее волокно, тем выше сорт асбеста. Промышленность выпускает 7 сортов асбеста:

Сорт	1	2	3	4	5	6	7
Длина волокна, *мм* .	17	13	9,5	5	2,5	1,5	0,8

Свойства	Единица измерения	Низкочастотные			
		асбест	мрамор	шифер	гагат
Плотность	$г/см^3$	2,6	2,78÷2,8	2,8	1,1÷1,2
Допустимая рабочая температура . . .	°C	450	200	200	40÷45
Водопоглощаемость	%	более 10	до 0,3	до 1,14	0,4÷1,7
Прочность на разрыв	$кГ/см^2$	300÷4 000	100÷200	500÷700	150÷170
Прочность на сжатие	$кГ/см^2$	—	500÷1 400	700÷1 200	900÷1 000
Прочность на изгиб	$кГ/см^2$	Гибкий	47÷320	350÷500	230÷400
Удельное объемное сопротивление при влажности 60% . .	ом·см	10^8—10^{11}	10^{10}	10^8	10^{12}
Удельное поверхностное сопротивление при 90% влажности	ом	10^7	10^7	10^7	10^{11}
tg δ при 50 *гц*:					
сухого		0,02	0,005	0,08	0,026
влажного		0,7	0,08	0,3	—
tg δ при 10^6 *гц* . . .		Не применяются			
Диэлектрическая проницаемость . .	—	7	7÷8	6÷7	2,5 - 3
Пробивная прочность	кв/см	20	20÷50	10÷6	40÷100
Теплопроводность .	вт/°Ссм	0,006	0,03	0,02	—

Асбест обладает высокой теплостойкостью (рабочая температура 450° С) и большой водопоглощаемостью. В сухом состоянии асбест хороший электроизолирующий материал, в увлажненном — полупроводник. Асбест применяется в качестве низкочастотной теплостойкой изоляции. Промышленность выпускает асбопряжу, асботкани, асболенту, асбокартон, асбобумагу, асбопластмассы, асбоцемент, асботекстолит. Изделия из асбеста хорошо обрабатываются, но имеют более низкую механическую прочность, чем изделия из органического волокна — хлопчатника, древесины и т. п.

Мрамор ($CaCO_3$) добывается в виде глыб различных размеров, которые распиливаются на доски. Поверхность досок шлифуется, а затем полируется. Мраморные доски (ГОСТ 629—41) идут для изготовления распределительных щитов, щитков рубильников и предохранителей. Мрамор можно сверлить обычными стальными сверлами. Мрамор

ных диэлектриков

	Высокочастотные					
талько-хлорит	слюда мусковит	слюда флогопит	сера	янтарь	мрамор, пропитанный стиролом	кварц кристалл
3,0	2,8	2,8÷2,78	2,05	1,05÷1,15	2,8	2,65
350	400	800	113	175—200	60	575
0,35	0,3	0,5		0,0	0,01	0,0
150÷210	170÷360	160÷210	—	—	100÷200	—
200÷300	3 700÷5 150	2 050÷2 650	—	—	500÷1 400	—
200÷300	В тонких слоях гибкие		—	—	47÷320	—
10^9	10^{15}—10^{16}	10^{13}—10^{16}	10^{16}	10^8—10^{11}	10^{15}	10^{17}
10^8	10^9	10^8	10^{14}	10^8	10^{12}	10^8
0,05	0,0004	0,006	0,0001	0,0006	0,0009	0,0007
0,1		0,015				
	0,0002	0,004	0,0007	0,009	0,0009	0,0007
		0,002				
6÷8	6÷7	5÷6	3÷3,8	2,8÷2,6	9	4,46÷3,5
10÷40	1 000	600	—	—	50	400
0,008	0,005	0,006	—	—	0,03	0,00325

имеет повышенную водопоглощаемость, его удельное объемное сопротивление в сухом состоянии 10^{13} *ом·см*, а в увлажненном 10^7 *ом·см*. Мрамор применяется для работы в поле низкой частоты. Как высокочастотный материал мрамор может применяться только после пропитки его стиролом, парафином или церезином.

Шифер — глинистый сланец, применяемый там же, где мрамор. По сравнению с мрамором шифер имеет более высокую химическую стойкость. Уступает мрамору по внешнему виду. Получается в виде досок малых размеров.

Талькохлорит — тальковый камень, легко сверлится, режется, фрезеруется. Талькохлорит служит заменителем мрамора, но уступает ему в механической прочности. Из талькохлорита делают детали, работающие при низких частотах в условиях повышенной температуры, например каркасы для проволочных сопротивлений.

Кварц (SiO_2) — горный хрусталь, добывается в природных условиях в виде прозрачных кристаллов шестигранной формы. Кристаллы кварца плохо обрабатываются и дороги. В радиотехнике используются пьезоэлектрические свойства кварца (см. Пьезоэлектрики), кроме того, в плавленом виде (см. Плавленый кварц, табл. 3) кварц применяют как установочный магериал высшего качества.

Свойства минеральных электроизолирующих материалов показаны в табл. 4.

4. ВОСКООБРАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Воскообразные электроизолирующие материалы объединяют группу материалов, по своим свойствам напоминающих воск. Они имеют малую механическую прочность, высокие изоляционные свойства, легко плавятся и почти не впитывают влагу. Благодаря малой водопоглощаемости и высоким элекгроизолирующим свойствам воскообразные вещества применяют для пропитки гигроскопичных материалов в целях повышения их влагостойкости, для заливки конденсаторов, дросселей, трансформаторов и т. п.

Парафин — высокочастотный электроизолирующий материал, изготовляемый из нефти. Согласно ГОСТ 784—42 парафин выпускается под следующими марками: марка А с температурой плавления 54° С, Б—53° С, В — 52° С, Г— 51° С, Д — 50° С, Е — 49° С. Для целей электроизоляционной техники применяется парафин первых четырех марок с температурой плавления 51—54° С. Недостатками парафина являются низкая теплостойкость и большой процент усадки при переходе из жидкого состояния в твердое. Наличие большого процента усадки объясняется большим температурным коэффициентом объемного расширения парафина, равным 0,0011—0,0035. Электроизолирующие свойства парафина высоки: $\operatorname{tg} \delta = 0{,}0003$ в диапазоне частот от 50 до 10^9 *гц*. Парафин применяется для пропитки конденсаторов, трансформаторов, каркасов катушек индуктивности. Поверхность парафина не смачивается водой, благодаря чему его поверхностное сопротивление практически не зависит от увлажнения.

Церезин — высокочастотный электроизолирующий материал, получаемый путем очистки озокерита (см. озокерит). Согласно ГОСТ 2488—44 церезин выпускается трех сортов: первый сорт с температурой плавления 80° С, второй

—75° С, и третий — 57° С. По сравнению с парафином церезин более теплостоек, более пластичен и имеет меньшую усадку при остывании, но дороже парафина в 3—4 раза. Его применяют для пропитки конденсаторов и заливки катушек и дросселей высокой частоты. Церезин имеет высокие электроизолирующие свойства, вплоть до частот 10^6 — 10^7 *гц*.

Галовакс — продукт хлорирования нафталина. Материал голубовато-желтого цвета с температурой плавления 93 и 132° С. Галовакс — негорючий высокочастотный материал. Его применяют для заливки бумажных конденсаторов и для изготовления высокочастотных компаундов. Он имеет высокую диэлектрическую проницаемость и пониженную, по сравнению с парафином, пробивную прочность.

Озокерит — продукт выветривания нефти в природных условиях. Озокерит — низкочастотный материал, применяемый в кабельной технике для пропитки изолированных проводов.

Пчелиный воск получается путем вытапливания в воде пчелиных сот. Это низкочастотный электроизолирующий материал желтого цвета, применяемый для заливки конденсаторов и изготовления компаундов.

Монтан-воск — низкочастотный электроизолирующий материал, получаемый из бурых углей. Монтан-воск имеет желтый цвет, является материалом твердым и хрупким. Его применяют для изготовления компаундов, для заливки электро- и радиодеталей.

Олеовакс — искусственный материал, получаемый из касторового масла. Олеовакс может использоваться только для низкой частоты, так как он имеет большой $\operatorname{tg} \delta$, величина которого в сильной степени зависит от температуры и частоты. Его применяют для заливки конденсаторов благодаря большой диэлектрической проницаемости, но из-за большого температурного коэффициента диэлектрической проницаемости конденсаторы получаются нестабильные.

Свойства воскообразных материалов приводятся в табл. 5.

5. СМОЛЫ, БИТУМЫ И ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Материалы этой группы являются основой лаков, клеев, пластмасс и компаундов. Их свойства приведены в табл. 6.

Канифоль — природная смола, получаемая из смолы хвойных деревьев после удаления из нее скипидара. Кани-

Таблица 5

Свойства воскообразных материалов

Свойства	Единица измерения	Низкочастотные: озокерит	Низкочастотные: пчелиный воск	Низкочастотные: монтан-воск	Низкочастотные: олеовакс	Высокочастотные: парафин	Высокочастотные: церезин	Высокочастотные: галовакс
Плотность	$г/см^3$	0,94÷0,95	0,964÷0,970	0,9÷0,99	0,98÷0,99	0,9÷0,93	0,9÷0,945	1,55÷1,7
Температура плавления	°C	64÷84	63÷67	80÷90	75÷80	51÷56	67÷80	93÷132
Водопоглощаемость	%	0,0	0,4	0,0	—	0,0	0,0	0,0
Диэлектрическая проницаемость	—	2,7÷2,8	2,8÷2,9	2,6÷2,7	12	2,2÷2,3	2,1÷2,3	4,5÷5,5
Удельное объемное сопротивление								
при 20° C	ом·см	10^{14}	$10^{13}÷10^{14}$	10^{15}	10^{15}	$10^{15}÷10^{17}$	$10^{14}÷10^{16}$	10^{14}
при 80° C	„ „	10^{10}	—	—	—	$10^{10}÷10^{11}$	10^{11}	10^{10}
tg δ при 20° C при 50 гц	—	0,01	0,02	0,025	0,03÷0,25	0,0005	0,0002	0,004
tg δ при 20° C при 10^6 гц	—	Не применяются				0,0005	0,0001	0,003
tg δ при 20° C при 10^9 гц	—	Не применяются				0,0006	0,0006	—
tg δ при 90° C и 50 гц	—	—	—	—	—	0,0011	0,0012	0,07
Пробивная прочность	кв/см	250	300	200	50÷80	300	150	100
Растворители	—	Бензин	Скипидар	Бензин	Серная кислота	Бензин	Бензин	Сероуглерод

фоль выпускается трех сортов: высший, имеющий температуру размягчения 68° С (светлая), первый — размягчающийся при 65° С (желтого цвета), и второй — размягчающийся при 52° С (коричневого цвета). Канифоль применяется для изготовления компаундов, лаков, а также в качестве флюса при пайке почти всех видов радиоаппаратов (см. раздел 7).

Шеллак — природная смола, собираемая с тропических растений в виде коричневых чешуек. Шеллак обладает высокой клеящей способностью, но вместе с тем имеет большую водопоглощаемость и хрупкость.

Это низкочастотный материал, применяемый для изготовления лаков.

Битумы — продукты окисления нефти. Битумы бывают природные и искусственные. Природные битумы называются асфальтами. Асфальты имеют температуру размягчения от 18° С до 190° С. Искусственные битумы получают путем продувания горячего воздуха через нефть. Искусственные битумы (ГОСТ 1544—46) выпускаются под пятью марками: № 1 с температурой размягчения 30° С, № 2, размягчающийся при 40° С, № 3 — при 50° С, № 4 — при 70° С, № 5 — при 90° С. При обработке нефтяных битумов щелочами получают тугоплавкий битум с температурой размягчения 125—150° С, называемый рубраксом. Битумы всех видов — материалы низкочастотные. Их применяют для изготовления лаков, пластмасс и компаундов.

Пеки — остатки перегонки дегтя, каменного угля, дерева, сланцев. Имеют плохие изоляционные свойства.

Фенол-формальдегидные смолы получаются путем варки фенолов в водном растворе формальдегида в присутствии кислот или щелочей. В случае избытка формальдегида и варке в щелочной среде получается наиболее распространенная бакелитовая смола.

Непосредственно после варки бакелитовая смола находится в стадии А, при которой растворяется в спирте и размягчается при нагревании. Если смолу в стадии А нагреть до 90° С, она перейдет в стадию С, в которой не растворяется в спирте и не размягчается при нагревании. Способность бакелитовой смолы переходить из стадии А в стадию С используется в производстве лаков и пластмасс, применяемых при низких частотах.

При избытке фенола и варке в присутствии кислоты получаются новолачные смолы, применяемые для изготовления лаков.

Глифталь — низкочастотная искусственная смола — результат варки глицерина с фталевым ангидридом. Это одна из наиболее теплостойких и маслостойких смол, но более гигроскопичная, чем бакелитовая смола. Так же как бакелитовая, глифталевая смола переходит из стадии А в стадию С при нагревании до температуры 160—180° С. В стадии С глифталевая смола не растворяется в растворителях и не размягчается при нагревании. Ее применяют для изготовления лаков и эмалей.

Мочевино-формальдегидные — низкочастотные искусственные смолы получают из мочевины и формалина. Они устойчивы к действию растворителей типа бензола, ацетона, керосина. Их применяют для изготовления пластмасс.

Полихлорвинил — низкочастотная искусственная смола, изготовляемая путем нагревания хлорвинила. Хлорвинил — продукт обработки ацетилена соляной кислотой. Полихлорвинил — влагостойкая смола, не растворяющаяся в трансформаторном масле, кислотах, щелочах.

Натуральный каучук делается из млечного сока растений каучуконосов: кок-сагыз, хондрилла, тау-сагыз. Натуральный каучук легко размягчается при умеренном нагревании, твердеет и становится хрупким на холоде. Его применяют для изготовления пластмасс.

Анилино-формальдегидная смола — искусственная, высоко-частотная, получается из анилина и формалина. Ее выпускают в виде порошка, из которого прессуются различные изделия.

Полистирол делают из этилена и бензола. В исходном состоянии это бесцветная жидкость, называемая стиролом. Если стирол нагреть до температуры 80—90° С, он затвердеет — полимеризуется. Поэтому затвердевший стирол называют полистиролом. Полистирол имеет высокие изоляционные свойства. Его применяют как высокочастотный материал для изготовления лаков и пластмасс. Недостаток полистирола — хрупкость, проявляющаяся при обработке (сверлении, обточке и т. п.).

Полиэтилен — продукт полимеризации этилена. $\operatorname{tg} \delta$ и ε полиэтилена мало изменяются в интервале температур $-100°$ С $\div +100°$ С и частот $50 \div 10^8$ *гц*. Его применяют для изготовления высокочастотных пластмасс.

Полиизобутилен — продукт полимеризации изобутилена (газ). В зависимости от степени полимеризации по-

лиизобутилен изготовляется как в жидком виде различной вязкости, так и в твердом, когда он подобен каучуку. Диэлектрическая постоянная и тангенс угла диэлектрических потерь полиизобутилена мало изменяются в интервале температур — 80° C ÷ + 80° C и до частоты 10^8 *гц* включительно.

Нитроцеллюлоза — продукт обработки целлюлозы (обычно хлопчатника) азотной кислотой. Это легко воспламеняющаяся белая хлопьевидная масса, применяемая для изготовления лаков и пластмасс.

Ацетилцеллюлоза получается в результате обработки целлюлозы смесью уксусной кислоты и уксусного ангидрида. Материал менее горючий, чем нитроцеллюлоза; применяется для изготовления лаков и пластмасс.

Бензилцеллюлоза — продукт обработки целлюлозы хлористым бензолом. Материал влагостойкий, механически прочный, негорючий, обладающий хорошими изоляционными свойствами. Бензилцеллюлоза применяется для изготовления лаков и пластмасс.

Этилцеллюлоза—целлюлоза, обработанная едким натром ($NaOH$), а затем хлористым этилом. Это негорючий, механически прочный, стойкий в отношении воздействия холодной и горячей воды материал, применяемый для изготовления лаков и пластмасс.

Силиконы — кремниеорганические соединения вида $(C_4H_7) \cdot Si(OC_2H_5)_3$, разработаны трижды лауреатом Сталинской премии К. А. Андриановым. Силиконы имеют высокую теплостойкость и хорошие электроизоляционные свойства. Из силиконовых смол с наполнителем из асбеста можно делать пластмассы с рабочей температурой до 218° C. Кроме того, силиконы изготовляют в виде резины и в жидком состоянии. Жидкие силиконы стойки в отношении температуры, влаги; их вязкость мало зависит от температуры.

Основные свойства материалов смол сведены в табл. 6.

6. ЛАКИ И КОМПАУНДЫ

Материалы этой группы предназначаются для покрытия и пропитки различных радиодеталей и аппаратуры с целью предохранить их от увлажнения, повысить изоляционные свойства и улучшить теплостойкость.

Лаки — материалы, состоящие из пленкообразующего вещества (смола, масло, битум) и растворителя (бензин, бензол и т. п., см. табл. 7). Лак наносится на изделие или

Свойства смол, битумов

Свойства	Единица измерения	Низкочастотные				
		каучук натуральный	канифоль (высший сорт)	шеллак	битумы	фенол-формальдегидные смолы
Плотность	$г/см^3$	0,9	1,08	1,02	1,4÷1	1,2÷1,3
Температура размягчения	°C	130	68	80	18÷190	Не плавится
Водопоглощаемость	%	0,1	1,5	5	0,1	0,2÷0,5
Удельное объемное сопротивление	*ом. см*	10^{15}	10^{15}	10^{15}	10^{14}	10^{14}
Диэлектрическая проницаемость	—	4	3,5	2,7÷3,5	3,0	5÷8
tg δ при 50 *гц*	—	0,02	0,005	0,009	0,005	0,005÷0,12
tg δ при 10^6 *гц*	—	—	—	0,025	0,01÷0,005	0,03÷0,01
Пробивная прочность	*кв/см*	70—200	100÷150	120÷240	250	150—200
В чем растворяется	—	—	Скипидар	Спирт этиловый	Бензин, бензол	Спирт этиловый
Область применения	—	Пластмассы	Лаки, компаунды, пайка	Лаки	Лаки, пластмассы, компаунды	Лаки, пластмассы

Растворители

Наименование растворителя	Удельный вес, $г/см^3$	Испаряемость по отношению к эфиру	Температура вспышки, °C
Ацетон	0,797	2,1	18
Бензин легкий	0,730	3,5	—30
Бензин тяжелый	0,785	—	—
Бензол (90%)	0,88	3	—12
Керосин легкий	0,77	Большая	21
Скипидар	0,86÷0,87	170	35
Спирт амиловый	0,823	6,2	33
Спирт бутиловый	0,809	3,3	29
Спирт метиловый	0,791	6,3	12
Спирт этиловый ректификат, крепость 95—96%	0,79÷0,81	9	10÷15
Спирт этиловый сырец, 88—90%	0,82÷0,93	—	15÷20
Толуол	0,866	6,1	8÷7
Уайт-спирит	0,76÷0,79	40÷60	26
Эфир серный	0,71	1	—40
Эфир амилацетат	0,864	13	24
Эфир бутилацетат	0,872	12	25
Эфир метилацетат	0,932	2	—13
Эфир этилацетат	0,899	2,9	—5
Вода	1,0	Большая	—

и эфиров целлюлозы

Таблица 6

глифталевая смола	нитроцеллюлозная пленка	ацетилцеллюлозная пленка	Высокочастотные: бензилцеллюлозная пленка	этилцеллюлозная пленка	анилиноформальдегидная смола	полистирол	полиэтилен	полиизобутилен	силиконы
1,07	1,9	1,25	1,2	1,14	1,2	1,05	0,95	0,98	1,265
Не плавится	40	80—120	150	200	115—110	70—90	104—115	80	более 200
3	0,7	1	0,5	3,5	0,08	0,01	0,01	0,0—0,1	0,05—0,2
10^{14}	10^{14}	10^{14}	10^{15}	10^{15}	10^{11}	10^{16}	10^{17}	10^{16}	10^{18}
3,5	4÷5	5÷7	3÷3,5	3÷4	3÷4	2,53	2,3	2,3	3÷2,9
0,03	0,02	0,015	0,005	0,003	0,005	0,0002	0,0002	0,0003	0,002
0,01	Применять не рекомендуется		0,0019	—	0,0015	0,00016	0,0002	0,0004	0,0015
160—280	100	100	100	100	120—200	250	240÷400	160÷230	190÷200
Бензол, керосин, бензин	Ацетон, амилацитат, спирт, эфиры		Смесь спирта и бензола хлороформа и четыреххлористого углерода	Смесь бензола и дихлорэтилена и спирта	—	Четыреххлористый углерод	—	—	Спирты, амилацетат
Лаки	Лаки и пластмассы		Лаки	Лаки	Пластмассы	Лаки и пластмассы	Пластмассы	Клей, пластмассы, компаунды	Пластмассы

для лаков

Таблица 7

Температура кипения, °С	Температура замерзания, °С	Удельное объемное сопротивление при 20°С, *ом·см*	Диэлектрическая проницаемость	Из чего производятся
56,2	—95	$10^6 \div 10^7$	21,45	Сухая перегонка дерева
52÷175	Ниже—100	$10^{13} \div 10^{14}$	2	Перегонка нефти
60÷200	Ниже—100	$10^{13} \div 10^{14}$	2	Перегонка нефти
77÷118	—5	10^{14}	2,3	Перегонка каменного угля
140÷200	—	—	2,8	Перегонка нефти
160	—	10^{13}	2,1÷2,5	Из смолы хвойных деревьев
117÷131	—78	10^6	10	Из крахмала
113÷116	—80	10^6	20	Получают при брожении крахмала
66	—98	10^6	32,5	Перегонка древесного уксуса
78÷79	—117	10^6—10^7	25,8	Из сахаристых веществ
80÷90	—	—	—	То же
107÷125	—95	—	2,3÷3	Из каменного угля
140÷200	—	—	—	Перегонка нефти
34	—120	10^{15}	4,37	Из спирта и серной кислоты
129÷148	—78,5	—	5,2	Эфиры уксусной кислоты, получаемые при взаимодействии уксусной кислоты с соответствующим спиртом
113÷148	—75,8	—	≈5,8	
57÷92	—98	—	7,7	
72 79	—84	—	6,5	
100	0	10^7	83,1÷84,5	—

Наименование	Марка или №	Состав основы (пленкообразующее)	Состав растворителя
Асфальтовый лак черный	447	Смесь лаков № 458 и 460 в соотношении 1 : 1	Уайт-спирит, ксилол, бензин
Асфальтовый лак черный	458	Льняного масла — 18%, канифоли — 3%, битума — 34%, сиккатив—0,1%	Уайт-спирит—9%, ксилол — 36%
Асфальтовый лак черный	460	Льняного масла — 27%, битума — 31%, канифоли — 0,9%, сиккатив—0,1%	Скипидар—5%, ксилол—36%
Бакелитовый лак	861	Бакелитовая смола—30%	Спирт-сырец или денатурат—70%
Глифтале-масляный лак	1154	Глифталевая смола и льняное масло — 30%	Толуол—35%, спирт этиловый—35%
Глифтале-масляный лак	1230	Глифталевая смола и льняное масло—40%	Бензин, уайт-спирит—60%
Масляный лак	202	Канифоль — 44%, льняное масло—15%, сиккатив—1%	Уайт-спирит—40%
Масляный лак	320	Льняное масло — 59%, канифоль—9%	Скипидар—32%
Масляный (кислотоупорный) лак	411	Битум — 28%, зеленое масло — 20%, канифоль — 2,5% сиккатив—1,5%	Скипидар - 48%
Масляный лак	804	Льняное масло, сиккатив	Бензин, уайт-спирит
Нитроцеллюлозный лак	—	Нитроцеллюлоза—15÷40%	Смесь ацетона, амилацетата и этилацетата—60—85%
Шеллачный лак	—	Шеллак—58%	Спирт этиловый—42%
Эмаль красная	По ХЭМЗ Л2464	Смесь глифтале-масляного и нитроцеллюлозного лаков, сурик—4÷5%	Смесь толуола и бутилацетата
Эмаль серая	СВД	Лак № 1230 — 35%, литопон—13÷25%	Смесь толуола и уайт-спирита —40%
Эмаль серая	СПД	Глифтале-масляный лак, № 1229 — литопон с пиролюзитом—18÷25%	Смесь бензина и уайт-спирита

Таблица 8

Вязкость, °Э при 50°С	Плотность лака, г/см³	Способ и температура сушки	Время сушки, в час.	Пробивная прочность, кв/мм	Область применения
3,5÷7	0,83	Воздушная, 20° С	48	44	Влагостойкий лак, пропиточный
3,5÷7	0,87	Печная, 100÷110° С	3	45	Влагостойкий лак, пропиточный для деталей аппаратуры наружной установки
5÷10	0,85	Печная, 100÷110° С	3	30	Влагостойкий лак покровный для деталей аппаратуры, работающей на воздухе
—	—	Печная, 110÷115° С	5÷6	60	Пропитка обмоток и каркасов дросселей, трансформаторов. Лак теплостойкий
3,5÷6,5	0,96	Печная, 100÷110° С	2÷4	55	Теплостойкий лак для пропитки катушек дросселей, трансформаторов и дерева
4÷6		Печная, 105° С	3	40	То же
6÷8	0,91	Печная, 210° С	0,5	30—60	Покрытие металлических поверхностей. Теплостойкий
—	—	Печная, 210° С	0,2	45	Покрытие катушек трансформаторов, дросселей. Теплостойкий
—	—	Воздушная, 18÷20° С	48	—	Для аккумуляторов и аккумуляторных помещений
4÷6	0,84	Печная, 110—105° С	3	40	Пропитка катушек трансформаторов, дросселей. Теплостойкий лак
—	—	Воздушная, 20 ± 5° С	0,2	70	Покрытие металлических и деревянных частей Нетеплостойкий лак
—	1,01	Воздушная, 20 ± 5° С	1	50—60	Клейка каркасов катушек и отделка дерева
—	0,95	Воздушная, 20 ± 5° С	3	30	Окраска токоведущих частей аппаратуры
—	1,07	Воздушная, 20 ± 5° С	18	25	Покрытие различных изделий и пропитка обмоток
—	1,07	Печная, 105° С	0,5	30	То же

пропитывает его, после чего изделие сушится. Во время сушки растворитель улетучивается и остается пленкообразующее вещество, улучшающее те или иные свойства изделия. Помимо пленкообразующего вещества и растворителя, в лаки иногда добавляются пластификаторы типа касторового масла, которые делают лаковую пленку пластичной.

Для ускорения процесса сушки в масляные лаки добавляют сиккативы, получаемые путем сплавления окислов тяжелых металлов (глета, сурика) с канифолью. Примером может служить олифа, представляющая льняное масло, сваренное с сиккативом. Олифа сохнет в 10 раз быстрее обычного льняного масла. При изготовлении лаков пленкообразующее вещество растворяется в растворителе, затем фильтруется для очистки, после чего помещается в отстойники (специальные баки) с целью получения более однородного по составу лака.

В табл. 8 даны основные сведения о применяемых в технике электроизоляционных лаках и эмалях. Сведения о сушке приведены потому, что часть лаков сушится в условиях окружающей среды, при температуре порядка $20 \pm 5°$ С, такая сушка называется воздушной; другая часть — при повышенной температуре в специальных сушильных шкафах, такая сушка называется печной.

По способу применения лаки подразделяются на покровные, пропиточные и клеящие. Покровные лаки наносятся на изделие для получения влагостойкого, механически прочного электроизолирующего покрытия. Часто они попутно защищают изделие от коррозии, воздействия химических реагентов, грязи и пыли, улучшают внешний вид. Пропиточные лаки служат для пропитки материалов с повышенной водопоглощаемостью (бумага, картон, пряжа, ткани и т. п.), что позволяет улучшить изоляционные свойства изделия, повысить его влагостойкость, теплопроводность, теплостойкость. Клеящие лаки применяются для склейки различных изоляционных деталей.

Компаунды — материалы, сплавленные из нескольких составляющих, например, галовакса и стирола, различных марок битумов, битума и песка и т. д. В отличие от лаков компаунды не содержат растворителей, и пропитка или заливка ими производится в расплавленном состоянии. Компаунды применяются для заливки конденсаторов, для пропитки дросселей и трансформаторов, катушек индуктивности и т. п.

Таблица 9

Высокочастотные пропиточные и заливочные компаунды
(по данным С. А. Яманова)

Наименование компаунда	Состав компаунда	Температура каплепадения, °C	Температура растрескивания, °C	Диэлектрическая проницаемость	Удельное объемное сопротивление, *ом·см*	tg δ (при 50 *гц*)	Пробивная прочность, *кв/см*
Галовакс-бензилцеллюлозный (заливочный)	Галовакс — 99%, бензилцеллюлоза — 1%	98	—50	5,8—6	10^{14}	0,001	135
Галовакс-этилцеллюлозный (заливочный)	Галовакс — 99%, этилцеллюлоза — 1%	96	—50	5,8—6	10^{13}	0,001	160
Галовакс-полистирольный (заливочный)	Галовакс — 99%, полистирол — 1%	102	—60	5,8	10^{14}	0,001	160
То же	Галовакс — 85%, полистирол — 15%	106	—60	4,5	10^{15}	0,001	160÷200
Церезин-канифольный (пропиточный)	Церезин — 70%, канифоль — 30%	82	—50	3	10^{14}	0,001	250
Битумно-масляный (пропиточный)	Битум — 60%, трансформаторное масло — 10%, кварц — 30%	130	—70	3,2	10^{14}	0,005	120
Галовакс-бензилцеллюлозный (заливочный)	Галовакс — 80÷90%, бензилцеллюлоза — 20÷10%	114	—50	5,5÷6	10^{14}	0,005	150÷200
Галовакс-этилцеллюлозный (заливочный)	Галовакс — 80÷90%, этилцеллюлоза — 20÷10%	114	—50	5,5÷6	10^{14}	0,005	150÷200
Галовакс-церезиновый (заливочный)	Галовакс — 84÷70%, церезин — 16÷30%	85	—50	4,5÷5	10^{13}	0,003	100÷120
Галовакс-битумный (заливочный)	Галовакс — 85÷80%, Битум № 5 — 15÷20%	80	—60	4,5÷5	10^{13}	0,005	100÷120
Галовакс-канифольный (заливочный)	Галовакс — 90%, канифоль — 10%	100	—60	5,5	10^{13}	0,005	120÷150

Низкочастотные компаунды в основной своей массе делаются на основе битума, как наиболее дешевого материала. Битумные компаунды получают путем сплавления битумов различных марок. Их применяют для заливки бумажных конденсаторов, пропитки дерева, обмоток трансформаторов, дросселей, минеральных диэлектриков и т. п. Основной недостаток битумных компаундов заключается в том, что они растрескиваются при температуре ниже —10° С. Компаунды из канифоли и трансформаторного масла применяются для заливки кабелей; сплавы шеллака и битума — для замазки и уплотнения швов аппаратуры; битума и кварцевого песка — для повышения теплопроводности изоляции.

Высокочастотные компаунды получают путем сплавления воскообразных веществ типа галовакса и церезина с полистиролом, бензилцеллюлозой, этилцеллюлозой. Они применяются для покрытия катушек индуктивности, трансформаторов и дросселей высокой частоты (выше 15 *кгц*), для защиты слюдяных конденсаторов. Свойства высокочастотных компаундов даются в табл. 9.

7. ПЛАСТМАССЫ

Пластмассами называются материалы, получаемые путем прессования под давлением. Обычно пластмассы состоят из связующего материала и наполнителя. Связующим материалом служат различные смолы, битумы, стекло и цемент. Наполнителем являются: древесная мука, мел, тальк, асбестовое волокно, хлопчатобумажные очесы, ткани, бумаги и т. п. Изделия из пластмасс выпускают в виде деталей, законченных или поступающих на сборку (ламповые панели, клеммы и т. п.), и в виде заготовок, из которых путем механической обработки делают детали. Для прессования деталей готовят пресспорошки. Заготовки выпускают в виде листов, трубок и стержней различных диаметров. Процесс производства пресспорошков разбивается на три операции: первая операция — составные части тщательно очищаются от примесей, сушатся для удаления влаги и измельчаются; вторая операция — связующий материал и наполнитель перемешиваются; третья операция — полученная масса измельчается до состояния порошка.

Свойства изделий из пресспорошков приведены в табл. 10.

Битумные пластмассы состоят из различных теплостойких битумов и асфальтов; в качестве наполнителя

Таблица 10

Физико-механические и электрические свойства изделий из пресспорошков

Наименование и марка прессовочных порошков	Плотность, *г/см³*	Прочность не менее				Температура размягчения, °С	Водопоглощаемость за 24 часа, %	Пробивная прочность, *кв/см*	Удельное объемное сопротивление, *ом/см*	tg δ при 50 *гц* не более
		на изгиб, *кГ/см²*	на сжатие, *кГ/см²*	на разрыв, *кГ/см²*	на удар, *кГ/см*					
Фенол-формальдегидные, марки: К-15-2, К-17-2, К-20-2, К-18-2, К-18-13	1,4	500	1 400	280	3,5	110	0,3	100	10^{9}	0,6
Бакелитовые без наполнителя . .	1,28	845	—	420	2÷3	121	0,1÷0,2	160÷200	10^{12}	0,1
Радиобакелит К-21-22	1,4	500	1 400	—	4,2	100	0,25	130	10^{12}	0,03
Фенольно-анилино-формальдегидные марки: К-211-3, К-211-4	1,9	400	—	—	2,5	110	0,2	120	10^{12}	0,015
Волокнит (фенол формальдегидный резольного типа), ...	1,35—1,45	500	1 200	300	9	110	0,4	20	10^{7}	0,1
Асборезольный К-6 на фенолформальдегидной смоле	1,84	700	800	300	18	200	0,8	9	10^{5}	0,5
Мочевино-формальдегидный аминопласт	1,5	600	—	350	6	90	1,0	140—100	10^{12}	0,03
Меламино-формальдегидный К-72-2	1,8	500	—	—	3	120	0,15	150	10^{11}	0,06
Асфальто-пековые	—	170	—	85	2÷3	42	ок. 0,3	100	10^{10}	0,01÷0,2

применяют древесную или слюдяную муку, тальк, асбест и т. п. Битумные пластмассы выпускаются в виде готовых изделий, которые отличаются малой механической прочностью и низкой теплостойкостью. Это низкочастотный материал, пригодный для изготовления деталей выключателей, штепсельных вилок и т. п.

К заготовкам относятся так называемые слоистые пластмассы, среди которых наиболее широкое распространение получили гетинакс и текстолит, изделия из каучука типа эбонита и т. п.

Гетинакс — слоистая пластмасса, получаемая путем спрессовывания слоев бумаги, пропитанных бакелитовым лаком или бакелитовой смолой. Стандартный гетинакс (ГОСТ 2718—44) марки А имеет повышенную пробивную прочность; гетинакс марки Б отличается повышенной механической прочностью; гетинакс марки В имеет низкие диэлектрические потери и предназначается для работы в радиоаппаратуре; гетинакс марки Г отличается повышенной механической прочностью и влагостойкостью. Гетинакс выпускается в виде листов размером 1 450 × 970 *мм* и 1050 × 720 *мм*, толщиной от 0,5 до 50 *мм*, а также в виде трубок, стержней и цилиндров. Гетинакс поддается следующим видам обработки: распиловке, сверлению, обточке, фрезеровке, штамповке, шлифовке и полировке.

Текстолит — слоистая пластмасса, получаемая путем горячей прессовки слоев хлопчатобумажной ткани, пропитанной бакелитовой смолой или лаком. Согласно ГОСТ 2910—45 текстолит выпускается двух марок А и Б. Текстолит марки А имеет повышенные электрические свойства; текстолит марки Б отличается повышенной механической прочностью. Текстолит выпускается в виде листов размером 1 050 × 640 и толщиной от 0,5 до 50 *мм*, а также в виде трубок и стержней различных диаметров.

Из гетинакса и текстолита делают каркасы обмоток трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности, ламповые панели, переходные колодки и т. д., работающие в цепях низкой частоты.

Гетинакс и текстолит имеют большую водопоглощаемость, в тонких слоях достигающую 6—10%. Более того, в результате механической обработки увеличивается количество капилляров, впитывающих влагу, что приводит к дополнительному увеличению водопоглощаемости. Большая водопоглощаемость приводит к резкому снижению изо-

ляционных свойств в условиях влажной среды. Поэтому изделия из гетинакса и текстолита следует покрывать бакелитовым лаком, особенно тщательно — поверхности, подвергавшиеся обработке.

Фанерит получают путем горячей опрессовки пропитанных бакелитовой смолой листов фанеры и бумаги. Фанерит — материал с пониженными электрическими свойствами, но имеющий хорошую механическую прочность. Он пригоден для изготовления конструктивных деталей и ящиков радиоаппаратуры.

Полихлорвинил — резинообразная пластмасса, изготовляемая из 40% пластификатора (трикрезилфосфата) и 60% полихлорвиниловой смолы. Полихлорвинил применяется для изоляции проводов. Он может работать при температуре от —20° С до +65° С; для специальных морозостойких сортов область отрицательных температур снижается до —35° С. С повышением температуры резко ухудшаются изоляционные свойства полихлорвинила; так, при температуре 35° С $\operatorname{tg} \delta = 0{,}121$. Его можно применять только как низкочастотный электроизолирующий материал.

Плексиглас — небьющееся органическое стекло, прозрачный, бесцветный низкочастотный материал, получаемый из метилового эфира. Плексиглас выпускается в виде хорошо обрабатывающихся листов, применяемых главным образом как декоративный материал для изготовления шкал, визиров и т. п.

Резина мягкая изготовляется из каучука путем соединения его с серой при повышенной температуре. Процесс соединения с серой называется вулканизацией.

В мягкой резине содержание серы колеблется от 3 до 10%. Резина отличается высокой влагостойкостью, хорошими изоляционными свойствами, но быстро стареет при повышенной температуре и наличии в воздухе озона. Резина — низкочастотный материал, применяемый для изоляции проводов и кабелей, но имеются сорта с относительно хорошими изоляционными свойствами, которые могут частично применяться при высокой частоте. Недостаток резины — низкая теплостойкость (40—60° С).

Эбонит — твердая резина (ГОСТ 2748—44), делается из натурального и синтетического каучука путем соединения с серой. В отличие от мягкой резины, эбонит содержит от 20 до 50% серы. Эбонит выпускается как листовой мате-

риал размером 1 000 × 500 *мм* и толщиной от 0,5 до 32 *мм*, а также в виде палок длиной 250 ÷ 1 000 *мм*, диаметром от 5 до 75 *мм* и труб длиной 400 ÷ 1 000 *мм* с внутренним диаметром от 2,8 до 50 *мм*. Эбонит хорошо поддается механической обработке. Он отличается высокой влагостойкостью и низкой теплостойкостью.

Целлулоид представляет собой нитроцеллюлозу, растворенную в камфаре. Целлулоид — легко воспламеняющийся конструктивный материал с низкой теплостойкостью и плохими изоляционными свойствами. Он легко растворяется в ацетоне, серном эфире и может применяться только как низкочастотный электроизолирующий материал.

Этролы — материалы, получаемые из эфиров целлюлозы с наполнителем. Этролы применяются для изготовления низкочастотных радиодеталей.

Целлон представляет собой ацетилцеллюлозу. Целлон менее горюч, чем целлулоид, поэтому постепенно вытесняет последний. Его можно применять в качестве низкочастотной электроизоляции.

Асбоцемент — пластмасса, получаемая из асбестового волокна, воды и портланд-цемента. Асбоцемент имеет большую водопоглощаемость, достигающую 20%, и очень плохие изоляционные свойства. Его применяют как теплостойкий конструктивный материал. Для улучшения электроизоляционных свойств и повышения влагостойкости асбоцемент пропитывают битумами, мазутом или каменноугольным пеком. Асбоцемент выпускается в виде досок (ГОСТ 4248—48) и труб различных размеров.

Свойства низкочастотных пластмасс, выпускаемых в виде заготовок, приводятся в табл. 11.

Полистирол — высокочастотная пластмасса, получаемая из полистирольной смолы. Ее выпускают в виде прессовочного порошка, листов и пленок. Из прессовочного порошка прессуют радиодетали — ламповые панели, каркасы катушек индуктивности и т. п. Пленки используют как диэлектрик для конденсаторов. Из листов путем механической обработки изготовляют детали. Основные недостатки полистирола — низкая предельная рабочая температура (85° С) и растрескивание изделий из полистирола со временем.

Для повышения теплостойкости в полистирол вводят добавки в виде дивинила, кварца, мрамора и т. п. Для уве-

личения срока службы детали из полистирола делают способом литья.

Полиэтилен — высокочастотная пластмасса из полиэтиленовой смолы. Это эластичный материал, занимающий промежуточное место между резиной и твердыми пластмассами, применяемый для изготовления каркасов контурных катушек и для изоляции высокочастотных кабелей.

Эскапон — высокочастотная пластмасса, полученная в СССР проф. П. П. Кобеко путем нагревания синтетического каучука (изготовляемого из спирта) до температуры 250° С. Его выпускают в виде листов. Материал хорошо поддается механической обработке. Эскапон применяется для изготовления установочных радиодеталей.

Гуттаперча — высокочастотная пластмасса, изготовляемая из сока деревьев и кустарников изонандры и эукомии, произрастающих в районе советских субтропиков. Гуттаперча — каучукоподобный материал с хорошими изоляционными свойствами, прекрасно сохраняющийся в воде; применяется для изоляции подводных кабелей. Недостатки гуттаперчи — быстрое старение на воздухе и низкая допустимая рабочая температура (не выше 37° С).

Микалекс — высокочастотная пластмасса, получаемая путем спрессовывания молотой слюды с борно-щелочным стеклом при температуре 600—625° С и под давлением 500—700 *кГ/см*². Микалекс имеет высокую теплостойкость, хорошие изоляционные свойства и высокую механическую прочность. Его выпускают в виде пластин квадратной формы со стороной до 300—400 *мм* и толщиной от 2—3 до 15—20 *мм* или палками шестигранной и круглой формы, диаметром 25—35 *мм*, длиной до 350—400 *мм*. Микалекс поддается механической обработке. Из него делают различные установочные радиодетали, в том числе каркасы для катушек коротковолновых передатчиков.

Совенит — высокочастотная пластмасса, изготовляемая из анилино-формальдегидной смолы.

Свойства высокочастотных пластмасс даются в табл. 12.

8. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В этой группе объединяются материалы органического происхождения, имеющие волокнистое строение. К ним относятся дерево, картоны, бумага, пряжа, ткани. Все органические волокнистые материалы имеют хорошую механиче-

Низкочастотные пластмассы

Название \ Свойства	Плотность, $г/см^3$	Водопоглощаемость, за 24 часа, %	Допустимая рабочая температура, °C	Прочность (не: на изгиб, $кГ/см^2$	на разрыв, $кГ/см^2$
Текстолит А	1,3÷1,4	2,0÷4,0	130	800	500
Текстолит Б	1,3÷1,4	1,5÷3	120	1 200	650
Гетинакс А	1,3÷1,4	ср. 3,5	150	1 000	800
Гетинакс Б	1,3÷1,4	ср. 4	150	1 300	1 000
Гетинакс В	1,3÷1,4	ср. 4	150	1 000	800
Гетинакс Г	1,3÷1,4	1	150	1 300	1 000
Фанерит	1,1÷1	5÷10	100	1 500	1 500
Асботекстолит	1,6÷1,7	1	160÷200	1 000	—
Резина мягкая	1,7÷2	0,01	50	Гибкая	500
Эбонит	1,3÷1,45	0,01	50	1 000	300
Полихлорвинил	1,2÷1,4	0,10	65	Гибкий	600
Саран	1,6÷1,75	10	70	1 000	400
Плексиглас (полиметилметакрилат)	1,18	0,17	50	520	600
Поливинилацетат	1,19÷1,35	0,15÷0,5	50	—	—
Нитроцеллюлозные этролы	1,8	0,3÷0,8	35÷40	360	250
Бензилцеллюлозные этролы	1,75÷1,8	1,13÷1,9	38÷40	300	250
Этилцеллюлозные этролы	1,7 ÷1,8	0,6÷0,9	38÷44	350	—
Ацетилцеллюлозные этролы	1,4	1	40	350	—
Целлулоид	1,3÷1,45	1,5÷1,3	40	600	300
Асбоцемент	1,8÷2	15÷20	250	150	—

Свойства высокоча

Свойства	Единица измерения	Полистирол
Плотность	$г/см^3$	1,05
Допустимая рабочая температура	°C	85÷90
Водопоглощаемость	%	0,0
Прочность на разрыв	$кГ/см^2$	400
Прочность на изгиб	$кГ/см^2$	400÷1 000
Прочность на удар	$кГ/см$	6÷20
Удельное объемное сопротивление сухого материала	$ом \cdot см$	$10^{14}÷10^{17}$
Удельное объемное сопротивление влажного материала	$ом \cdot см$	10^{10}
tg δ при 50 *гц*	—	0,0002
tg δ при 10^6 *гц*	—	0,00016
Диэлектрическая проницаемость в интервале частот $50÷10^6$ *гц*	—	2,55÷2,52
Пробивная прочность	$кв/см$	250

Таблица 11

(выпускаемые в виде заготовок)

менее) на удар, *кГ/см*	Твердость по Бринеллю, *кГ/мм²*	Удельное объемное сопротивление, *ом·см*	Удельное поверхностное сопротивление, *ом*	tg δ при 50 *гц*	Диэлектрическая проницаемость	Пробивная прочность, *кв/см*
20	35	10^{10}	10^{10}	0,02–0,15	6÷8	60÷240
30	30	10^{12}	10^{9}	0,02–0,15	6÷8	60÷240
16	25	10^{11}	10^{11}	0,1	5÷8	230
20	25	10^{9}	10^{9}	0,3	5÷8	150
16	25	10^{10}	10^{10}	0,04 (10^{6} *гц*)	5÷8	230
20	25	10^{9}	10^{9}	0,3	5÷8	150
—	—	10^{8}	10^{7}	Большой	8	40
20	30÷40	10^{9}—10^{10}	10^{9}—10^{10}	—	8	50÷100
—	—	10^{15}	10^{14}	0,02	2,6÷3	150÷250
1	—	10^{15}	10^{14}	0,01	2,8÷3,5	150
—	10	10^{12}	10^{11}	0,02	3,5	200
—	—	10^{14}	—	0,08	—	—
5	25÷28	10^{13}	10^{12}	0,05	3,2	150
—	—	10^{14}	10^{12}	0,025	4,1	100
4	8÷9	10^{12}	10^{12}	0,02	4÷5	100
3	7÷13	10^{13}	10^{13}	0,07÷0,1	7÷3,6	120
4,5	6÷10	10^{13}	10^{13}	0,03	3÷4	170
10	4	10^{13}	10^{12}	0,015	5÷6	130
12	—	10^{12}	10^{12}	0,04	4÷3,5	150
3,5—4	—	10^{7}	10^{6}	0,2	8	20

Таблица 12

стотных пластмасс

Полиэтилен	Эскапон	Гуттаперча	Микалекс	Совенит
0,92÷0,95	1,0	—	2,6	1,2÷1,25
104÷115	130	37	450	100
0÷0,01	0,0	0,0	0,3	0,05
102÷140	5,00	—	400÷700	600÷700
Гибкий	600	Гибкий	1 200	900÷1 200
—	15÷40	—	2÷5	10÷20
10^{17}	10^{17}	10^{17}	10^{15}	10^{14}
—	10^{14}	10^{10}	10^{10}	10^{12}
0,0002	0,0004	0,009	0,005	0,0015
0,0004	0,0006	—	0,004	0,0015
2,3	2,7	2,5÷4	7,5	4
240÷400	350	150	150	160

скую прочность и, исключая дерево, гибкость. Большинство материалов этой группы дешевы. Недостатками их являются большая неустраняемая водопоглощаемость и низкая рабочая температура. Все они в сухом состоянии являются хорошими диэлектриками, а при увлажнении становятся полупроводниками. Их можно применять только в цепях низкой частоты и, по возможности, в пропитанном виде. Материалами для пропитки могут служить лаки, воскообразные вещества, компаунды или смолы.

Пряжа делается из нитей хлопчатника, натурального или искусственного шелка и применяется для заделки концов провода, обмотки проводов, изготовления тканей, лент и т. п. Прочность на разрыв различных видов волокна следующая: ацетатцеллюлозного — 16 ÷ 21 *кГ/мм²*, вискозного—18 ÷ 40 *кГ/мм²*, хлопчатобумажного — 21 ÷ 80 *кГ/мм²*, шелка натурального — 46 ÷ 90 *кГ/мм²*, льняного — 28 ÷ 110 *кГ/мм²*, найлона — 56 *кГ/мм²*. Хлопчатобумажная пряжа бывает крученая и однониточная. Однониточная пряжа выпускается по номерам. Номер указывает, сколько метров содержится в 1 *г* пряжи. Крученая пряжа обозначается дробью, числитель которой указывает на номер пряжи, а знаменатель — на число скрученных нитей.

Ткани изготовляют путем переплетения нитей пряжи. Нити пряжи, идущие вдоль рулона ткани, обычно более прочные, называются основой; нити пряжи, идущие поперек рулона, называются утком. В качестве изоляционных материалов в радиотехнике наиболее широкое применение имеют хлопчатобумажная тафтяная и киперная ленты, бязь, миткаль, которые применяются для крепления монтажа аппаратуры, секций трансформаторов, дросселей.

Тафтяная лента имеет такое же переплетение нитей, как обычная полотняная ткань. Она выпускается толщиной 0,25 *мм*, шириной 10, 12, 15, 20, 30, 35, 40, 50, 60 *мм* и имеет прочность на разрыв от 10 до 45 *кГ* в зависимости от ширины ленты.

Киперная лента имеет такое же переплетение нитей, как бумазея — елочкой под углом 45°. Киперная лента делается толщиной 0,40 *мм*, шириной 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40 *мм*; имеет прочность на разрыв от 15 до 45 *кГ* в зависимости от ширины ленты.

Миткалевая лента с полотняным переплетением нитей выпускается толщиной 0,26 *мм* и шириной 15, 20, 25, 30, 35 *мм* с прочностью на разрыв от 15 до 31 *кГ*.

Батистовая лента с полотняным переплетением нитей выпускается толщиной 0,22 *мм*, шириной 15 и 25 *мм* с прочностью на разрыв 12 и 14 *кГ*.

Бумага изоляционная получается из древесной целлюлозы, хлопкового или льняного волокна и т. п. В процессе производства целлюлозы древесина рубится и варится под давлением со щелочами (сульфатная) или кислотами сульфитная). Полученная после варки масса отмывается от щелочей или кислот, смешивается с водой и измельчается в роллах. В зависимости от степени и характера измельчения бумага подразделяется на бумагу жирного и тощего помола. При жирном помоле волокна раздавливаются вдоль волокна, при тощем — разрезаются поперек волокна. Бумага тощего помола имеет малую механическую прочность, бумага жирного помола механически более прочна и менее воздухопроницаема. После размола бумажная масса поступает для сушки на непрерывно движущиеся сита, далее обжимается на вальцах и затем свертывается в рулоны. Для целей электро- и радиотехники выпускают телефонную, кабельную, конденсаторную, оклеечную бумагу. Кабельная и телефонная бумага применяется для изоляции кабелей, прокладок между обмотками, секциями, а иногда и слоями обмоток трансформаторов и дросселей; для изготовления каркасов катушек индуктивности, работающих при относительно невысокой частоте и низкой относительной влажности (трансформаторы промежуточной частоты недорогих приемников).

Конденсаторная бумага применяется в качестве диэлектрика бумажных конденсаторов и для прокладок между слоями обмоток трансформаторов, оклеечная — для оклейки листов трансформаторного железа. Свойства различных видов электроизоляционных бумаг приводятся в табл. 13.

Электроизоляционные картоны делаются из целлюлозы и выпускаются в листах двух типов: мягкие, объемным весом 0,9—1,1 *г/см*^{3} и твердые, объемным весом 1,1—1,4 *г/см*^{3}. Процесс производства электрокартонов близок к процессу производства бумаги. Согласно ГОСТ 2824—45 мягкий электрокартон имеет марку ЭВ. По ГОСТ 4194 картон электроизоляционный выпускается под маркой ЭМ. Картон марки ЭВ делается из целлюлозы, хлопкового и льняного волокна и применяется для изготовления каркасов катушек трансформаторов, дросселей, в виде пазовых прокладок и т. п. Он изготавливается толщиной от 0,1 до

Таблица 13

Электроизоляционные бумаги

Свойства	Единица измерения	Телефонная бумага	Кабельная бумага			Конденсаторная бумага	Пропиточная бумага	Намоточная бумага
			К-08	К-12	К-17			
Толщина	*мм*	0,05±5%	0,08±0,05	0,12±0,07	0,17±0,01	От 0,007 до 0,024	0,12±0,01	0,5 и 0,75±0,05
Ширина рулона	*мм*	500 и 750	750 или 500	750 или 500	750 или 500	От 19 до 750	1000 и 1500	1000 и 1500
Объемный вес	*г/см*³	0,7—0,82	0,7	0,7	0,7	0,97÷1,0	0,55±0,05	0,75±0,05
Разрывное усилие для полоски шириной 15 *мм*:								
вдоль рулона	*кГ*	5,5	9,0	16	22	1,0÷1,5	3,5	3,2÷4,5
поперек рулона	*кГ*	2,4	4,5	7	11	—	1,7	2,0÷2,7
Число двойных перегибов вдоль рулона		500	2 000	2 000	2 000	—	200	320
Пробивная прочность	*кв/см*	80	80÷90	80÷90	80÷90	300÷400	50	80
tg δ при 50 *гц* в сухом состоянии	—	0,01÷0,02	0,01÷0,02	0,01÷0,02	0,01÷0,02	0,01÷0,02	0,01÷0,02	0,01÷0,02
Диэлектрическая проницаемость	—	3,0	2,5÷3,5	2,5÷3,5	2,5÷3,0	2,5÷3,0	2,5÷3	2,5÷3,5
Удельное объемное сопротивление при 70% относительной влажности	*ом.см*	10^9	10^9	10^9	10^9	$10^9 \div 10^{10}$	$10^8 \div 10^9$	$10^8 \div 10^9$

3 *мм* с пробивной прочностью 7,5—11 *кв/мм*. Картон марки ЭМ предназначен для работы в масле, имеет толщину 0,5—0,3 *мм*, пробивную прочность в масле—от 19 до 47 *кв/мм*.

Твердыми электрокартонами являются фибра и летероид.

Фибра прессуется из слоев бумаги, пропитанных хлористым цинком, и выпускается в виде листов размером 1 000 × 1 000 *мм* и 600 × 800 *мм*, а также трубками с внутренним диаметром от 6 *мм* и более, длиной — от 300 до 1 000 *мм*. Натуральный цвет фибры серый; черная и красная фибра получается путем применения специальных красителей. Основной недостаток фибры—большая водопоглощаемость, достигающая 60%, что приводит к резкому снижению ее электрических свойств при увлажнении. Преимуществом фибры является возможность изготовления деталей путем формовки в размягченном в горячей воде виде. Гибкая и тонкая листовая фибра называется летероидом. Из фибры делают шайбы, прокладки, каркасы трансформаторов и дросселей, шпильки с нарезкой и т. п. Фибру можно применять в области низких частот (не выше 20 *кгц*) в условиях низкой влажности.

Свойства различных марок электрокартонов даются в табл. 14.

Дерево нашло широкое применение как конструктивный материал для изготовления радиоаппаратуры. Применению дерева в качестве электроизоляционного материала пре-

Таблица 14

Электроизоляционные картоны

Свойства	Единица измерения	Мягкие электрокартоны		Твердые электрокартоны	
		ЭВ	ЭМ	Фибра	Летероид
Объемный вес . . .	*г/см*³	1,15	0,9÷1,1	1,1÷1,14	1,2
Допустимая рабочая температура . . .	°С	90	90	100	100
Прочность на разрыв:					
вдоль рулона . .	*кГ/см*²	500÷700	400÷600	500÷800	700
поперек рулона .	*кГ/см*²	200÷300	200÷300	300÷600	400
Пробивная прочность	*кв/мм*	7,5÷11	10	2÷6	8÷10
$\operatorname{tg}\delta$ при 50 *гц* в сухом состоянии .	—	0,02÷0,03	0,02÷0,03	0,06÷0,07	0,06÷0,07
Толщина листов . .	*мм*	0,1÷3	0,5÷3,0	0,5÷50	0,1÷7,05

пятствует большая водопоглощаемость. Дерево, как и все волокнистые материалы, в сухом состоянии является электроизолирующим материалом, а в увлажненном виде — полупроводником. Для устранения повышенной водопоглощаемости дерево сушат и пропитывают канифолью. В пропитанном канифолью виде дерево можно применять в качестве электроизолирующего материала в цепях низкой частоты. Пропитка дерева заключается в простом проваривании его в расплавленной канифоли. Пропитывающими материалами могут служить также и парафин, изоляционные лаки, масла, воскообразные вещества, компаунды и битумы. Свойства различных видов дерева показаны в табл. 15.

9. ПРОПИТАННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В этом разделе рассматриваются пропитанные маслами, лаками или смолами волокнистые материалы: лакоткани, лакобумага, изоляционная лента и линоксиновая трубка.

Лакоткани (ГОСТ 2214-43) представляют собой хлопчатобумажную, шелковую, стеклянную ткани, пропитанные масляными или глифталевыми лаками. Лакоткани, изготовляемые на основе хлопчатобумажной ткани, выпускаются под маркой ЛХ, на шелковой ткани — под маркой ЛШ, на стеклянной ткани — под маркой ЛС. Буква М в конце марки означает маслостойкая; буква Ч—черная. Лакоткани имеют толщину от 0,04 до 0,30 *мм*. Лакоткани выпускаются в рулонах шириной от 700 до 1 000 *мм*. Плотность их — от 0,9 до 1,1 *г/см*^{3}; водопоглощаемость стеклянной лакоткани 3%, хлопчатобумажной и шелковой—6—10%; прочность на разрыв — от 1,2 до 3 *кГ/мм*^{2}; пробивная прочность — от 320 до 570 *кв/см*; диэлектрическая проницаемость — 3 $\div$ 4; тангенс угла диэлектрических потерь — 0,02 $\div$ 0,1; удельное объемное сопротивление — $10^{11} \div 10^{13}$ *ом.см*. Лакоткани применяются главным образом для изоляции обмоток (редко — слоев обмоток) трансформаторов и дросселей.

Линоксиновые (лакированные) трубки готовят путем пропитки хлопчатобумажных, шелковых или стеклянного волокна трубок (чулков) эластичными лаками. Их выпускают длиной 1 *м* с внутренним диаметром от 1 до 12 *мм*, с пробивным напряжением — 2 *кв*. Цвет трубок — от желтого до темнокоричневого. Линоксиновая трубка применяется для изоляции проводов при монтаже радиоаппаратуры.

Таблица 15

Физико-механические и электрические свойства различных видов дерева

Свойства	Единица измерения	Береза	Береза, пропитанная канифолью	Бук	Дуб	Ольха	Ясень	Граб	Сосна
Объемный вес . . .	*г/см*³	0,7	1,1	0,71	0,66	0,4	0,75	0,74	0,49
Водопоглощаемость	%	Более 16,0	3,5	16,1	13,5	14	12,0	12,5	18
Допустимая рабочая температура . . .	°C	100÷110	70÷80	110	110	100	110	100	100
Прочность на разрыв:									
вдоль волокна . .	*кГ/см*²	1 070	—	1 050	1 680	—	2 180	1 100	1 800
поперек волокна .	*кГ/см*²	520	—	630	490	—	300	650	345
Прочность на сжатие параллельно слоям	*кГ/см*²	560	—	380	460	430	550	590	420
Прочность на изгиб	*кГ/см*²	800÷900	1 100÷1 000	660	840	810	980	1 100	790
Удельное объемное сопротивление в сухом состоянии	*ом.см*	$10^{10}÷10^{11}$	$10^{11}÷10^{12}$	10^{13}	10^{13}	10^{12}	10^{13}	10^{13}	10^{11}
Диэлектрическая проницаемость . .	—	3÷4	4÷4,5	3÷4	3÷4	3÷4	3÷4	3÷4	3÷4
Пробивная прочность:	*кв/см*	15÷20	40÷60	52	47	60	55	60	20
tg δ при 10^6 *гц* в сухом состоянии . .	—	0,02	0,01	0,02÷0,01	0,02÷0,01	0,02÷0,01	0,02÷0,01	0,02÷0,01	0,02÷0,01
tg δ после 24 часов выдержки в воде .	—	Более 0,2	0,03	Более 0,2	Более 0,2	Более 0,2	Более 0,2	Более 0,2	Более 0,2

Изоляционная липкая лента — обычная монтерская изоляционная лента, идущая для изоляции оголенных участков монтажных проводов, находящихся под напряжением. Изоляционная лента выпускается двух видов — прорезиненная (ГОСТ 2162—43) и смоляная. Прорезиненная лента выпускается в кругах шириной 10, 15, 20 и 50 *мм*, с наружным диаметром круга 175 ± 25 *мм*, весом 350—380 *г*. Смоляная лента выпускается в кругах, содержащих 25 *м* ленты. Толщина ленты 0,6 *мм*, ширина — 15, 25, 40, 50 и 75 *мм*; прочность на разрыв — не менее 6 *кГ*; пробивное напряжение одного слоя — не менее 2 500 *в*.

Лакобумага представляет собой бумагу, пропитанную масляным светлым или масляно-битумным черным лаком. Лакобумаги выпускаются рулонами шириной от 600 до 2 000 *мм* и лентами различной ширины, толщиной 0,03 и 0,06 *мм*. Водопоглощаемость лакобумаги — 10 ÷ 12%, разрывная прочность — 1,5 *кГ/мм*^{2}, удлинение при разрыве 2 — 4%, пробивная прочность — 30 ÷ 50 *кв/мм*, удельное объемное сопротивление — 10^{10} *ом.см*. Лакобумага применяется при изготовлении трансформаторов, дросселей и т. п.

ГЛАВА ШЕСТАЯ
ЖИДКИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Трансформаторное масло — продукт перегонки нефти при 400—350° С. Его применяют для заливки трансформаторов, конденсаторов, кабелей для повышения их пробивной прочности. В трансформаторах оно отводит также тепло от обмоток и сердечника. Основной недостаток трансформаторного масла заключается в том, что оно легко впитывает влагу, которая резко ухудшает его изоляционные свойства: если сухое трансформаторное масло поставить в открытом виде в сырое помещение, то его пробивная прочность упадет примерно с 14 до 2 *кв/мм*. Поэтому перед применением трансформаторное масло необходимо высушить путем выварирания. Кроме того, в процессе длительной эксплоатации трансформаторное масло стареет: повышается кислотность, что ведет к разрушению металлических частей аппаратуры, выпадает осадок, затрудняющий отвод тепла от обмоток и сердечника трансформатора, и резко ухудшаются электроизоляционные свойства. Так, пробивная прочность состарившегося масла падает примерно с 14 до

7—8 *кв/мм.* Поэтому состарившееся трансформаторное масло подзергают очистке, для чего фильтруют его через специальные глины типа гумбрин, зикеевской или пулковской. Такой способ очистки называется перкаляцией. При другом способе очистки (контактном) масло смешивают с указанными глинами, а затем отделяют его от глины в отстойниках.

Конденсаторное масло получают из трансформаторного путем тщательной очистки специальными глинами. Оно имеет tg δ = 0,0002—0,0005 и применяется для заливки конденсаторов.

Кабельные масла также делают из трансформаторного путем дополнительной очистки глинами с последующим удалением воздуха под вакуумом.

Касторовое масло добывают из семян растения клещевины и применяют для пропитки бумажных конденсаторов. В отличие от трансформаторного масла касторовое не разрушает резину и медленно впитывает влагу.

Таблица 16

Свойства основных жидких электроизолирующих материалов

Свойства	Единица измерения	Трансформаторное масло	Совол	Касторовое масло
Удельный вес при 20° С	*г/см*³	0,85÷0,92	1,5÷1,58	0,89
Температура вспышки	°С	135	300÷318	—
Температура воспламенения	°С	160	400	290
Вязкость при 50° С	°Э	1,8	10	10
Допустимая рабочая температура	°С	95	150	—
Температура застывания	°С	—35	0÷4	—20÷15
Диэлектрическая проницаемость	—	2,2	5	4,2
Тангенс угла диэлектрических потерь	—	0,0002÷0,008	0,0002÷0,002	0,015
Удельное объемное сопротивление	*ом. см*	10^{14}	10^{12}	10^{10}
Пробивная прочность	*кв/см*	70÷120	280÷150	120
Температурный коэффициент объемного расширения	$\frac{1}{°C}$	0,000007	0,0006	—
Растворители	—	Бензин, уайт-спирит	Трихлорбензол	Спирты, эфиры, бензол

Совол получен трижды лауреатом Сталинской премии проф. К. А. Андриановым в 1935 г. путем хлорирования дифенила. Это тяжелая, прозрачная, вязкая жидкость, обладающая резким запахом. Совол имеет хорошие изоляционные свойства и применяется для пропитки бумажных конденсаторов взамен трансформаторного масла, как более стабильный и менее горючий материал.

Совтол — смесь 64% совола с 36% трихлорбензола — материал менее вязкий, чем совол, может применяться для заливки трансформаторов с целью повышения пожаро- и взрывобезопасности.

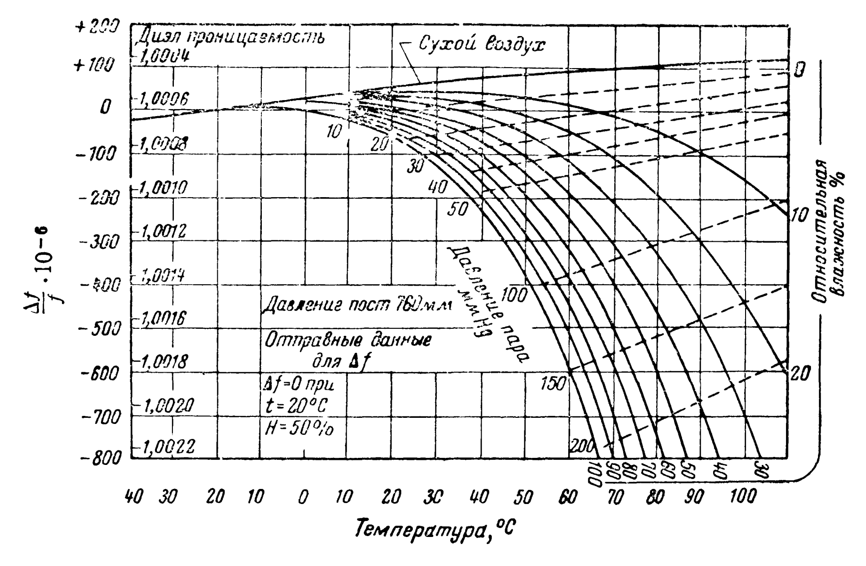
Свойства основных жидких электроизолирующих материалов приведены в табл. 16.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ
ГАЗООБРАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Воздух — наиболее распространенный электроизолирующий материал. Необходимо всегда помнить, что воздух является, полностью или частично, электроизолирующей средой большинства деталей и монтажа радио- и электроаппаратуры; что поверхностные свойства почти всех деталей и общие свойства деталей из пористых материалов зависят от свойств воздуха. Тангенс угла диэлектрических потерь воздуха равен 0, диэлектрическая проницаемость 1,0006, удельное объемное сопротивление 10^{18} *ом. см*, теплопроводность — 0,006 *вт/см*° С, пробивная прочность около 3 *кв/мм*. Все приведенные свойства воздуха соответствуют температуре $20 \pm 5°$ С и давлению 760 *мм* ртутного столба (обычное давление окружающего нас воздуха).

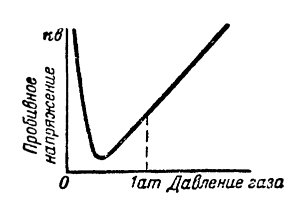
Характер изменения величины диэлектрической проницаемости воздуха от колебаний температуры, влажности и давления водяных паров при неизменном атмосферном давлении, равном 760 *мм* ртутного столба, показан на фиг. 5. С увеличением давления растет диэлектрическая проницаемость воздуха. Если при давлении в 1 *атм* его $\varepsilon = 1{,}0006$, то при 100 *атм* $\varepsilon = 1{,}05494$.

Пробивная прочность воздуха зависит от толщины пробиваемого слоя, давления окружающей среды, степени загрязнения материала, с которым соприкасается воздух, и формы проводника, с которого происходит пробой. На



Фиг. 5. Зависимость диэлектрической проницаемости воздуха от температуры и влажности.

границе с загрязненной поверхностью другого электроизолирующего материала, например фарфора, стекла и т. п., пробивная прочность воздуха не превышает 0,5 *кв/мм*, поэтому поверхность электроизолирующих деталей необходимо очищать от пыли и загрязнения. Пробивная прочность тонких слоев воздуха порядка 0,2 *мм* — 7,5 *кв/мм*; 1 *мм* — 4,5 *кв/мм*; 10 *мм* — 3,3 *кв/мм*, при условии развития пробоя с шаровидных поверхностей. Если пробой развивается с заостренных участков (заусенцы, концы проводов), то пробивная прочность не превышает 2 *кв/мм*. Характер изменения пробивного напряжения воздуха от изменения давления показан на фиг. 6. Пробивная прочность повышается при сжатии воздуха; при разряжении вначале снижается, затем резко повышается. Все приведенные выше данные распространяются на область низких звуковых частот. В области высоких частот порядка 10^5—10^6 *гц* пробивная прочность воздуха падает примерно на 10%, а затем при частоте 10^7 вновь



Фиг. 6. Зависимость пробивного напряжения воздуха от давления.

возрастает до величины, соответствующей 50 *гц*. Изоляционные свойства воздуха в сильной степени зависят от влажности и несколько менее от температуры. Приведенные выше данные относятся к воздуху при температуре 20° С и относительной влажности 30—40%.

Конструируя радиоаппаратуру, необходимо соблюдать следующие расстояния по воздуху между находящимися под напряжением голыми токоведущими частями и заземленными участками аппаратуры:

1. При работе в помещении, при наибольшем рабочем напряжении 3,3 *кв*—90 *мм*, при напряжении 6,6 *кв*—120 *мм*, при напряжении 11 *кв*—155 *мм*.

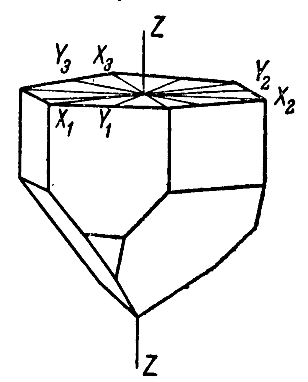
2. При работе вне помещения, в случае наибольшего рабочего напряжения 3,3 *кв* — 160 *мм*, при напряжении 6,6 *кв* — 185 *мм* и при 11 *кв* — 230 *мм*.

Благодаря исключительно малой величине тангенса угла диэлектрических потерь, практически равного нулю, сухой воздух является лучшим высокочастотным электроизолирующим материалом. Его используют в качестве диэлектрика высокочастотных конденсаторов, кабелей. Недостатки воздуха — малая пробивная прочность, для изготовления конденсаторов — малая диэлектрическая проницаемость, в результате чего конденсаторы получаются очень громоздкими, и необходимость влагозащиты при ответственных применениях.

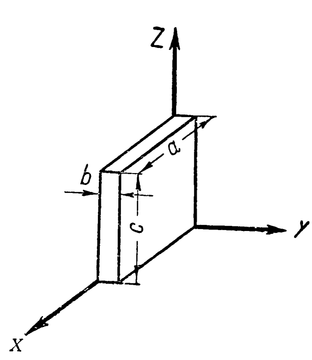
Заменителем воздуха в области изготовления конденсаторов может служить элегаз, имеющий пробивную прочность в $2^1/_2$ раза больше, чем воздух. Элегаз впервые разработан и получен в СССР проф. Б. М. Гохбергом.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКИ

Пьезоэлектрики — материалы, у которых под действием электрического поля изменяются габаритные размеры, а под действием механической нагрузки (сжатие, растяжение, кручение) возникают электрические заряды. Наиболее ярко пьезоэлектрические свойства выражены у



Фиг. 7. Распределение осей в кристалле кварца.



Фиг. 8. Пластина кварца.

сегнетовой соли, титаната бария, кварца, турмалина, сахара, фосфорнокислого аммония, винной кислоты и т. п. В радиотехнике особенно широко используются пьезоэлектрические свойства кварца и сегнетовой соли.

Кварц (SiO_2) добывается в виде прозрачных кристаллов шестигранной формы (фиг. 7). В кристалле кварца различают три вида осей: Z — оптическую ось; X_1, X_2, X_3—электрические оси; Y_1, Y_2, Y_3 — механические оси. Если вдоль этих осей вырезать пластину (фиг. 8), то в ней будут наблюдаться прямой (продольный и поперечный) и обратный пьезоэлектрические эффекты.

Прямой пьезоэлектрический эффект возникает в том случае, когда пластину кварца, показанную на фиг. 8, растягивают вдоль оси X. На грани, обращенной в сторону положительных значений X, появляется положительный заряд, а на противоположной грани — отрицательный. Величина этого заряда в системе единиц CGSE определяется формулой:

$$Q = d_{11} \cdot F_x,$$

где $d_{11} = 6{,}4 \cdot 10^{-8}$ — пьезоэлектрический модуль, а F_x — растягивающая сила, выраженная в динах. Если вместо растягивания пластину сжимать, знаки зарядов изменятся. Во время сжатия и растяжения пластины кварца вдоль осей X и Y заряды образуются только на двух гранях, перпендикулярных к оси X. На остальных гранях заряды не образуются.

Когда пластина кварца сжимается или растягивается вдоль оси Y, заряды возникают, как сказано, также на гранях, перпендикулярных к оси X, но величина заряда Q в системе единиц CGSE определяется формулой:

$$Q = d_{11} \frac{b}{a} F_y,$$

где F_y — механическое усилие, приложенное вдоль оси Y, в динах; a и b — длина граней пластины вдоль осей X и Y (фиг. 8).

На гранях, перпендикулярных к оси Y, заряды можно получить при действии касательного к оси Z усилия, приводящего к сдвигу. В этом случае пьзоэлектрический модуль имеет величину $d_{14} = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$.

Обратный пьезоэлектрический эффект заключается в том, что электрическое напряжение, приложенное к граням, перпендикулярным к оси X, вызывает удлинение или укорочение пластинки кварца в направлениях осей X и Y.

Кварцевые пластины используются для стабилизации частоты радиопередатчиков и иногда гетеродинов приемников. Для этого пластина кварца помещается между металлическими обкладками, выводы которых включаются в схему возбудителя (или гетеродина приемника) вместо колебательного контура. В настоящее время вместо помещения кварцевой пластины между обкладками обычно применяется серебрение широких граней ее, с заходом серебреного покрытия на противоположные тонкие грани. Такая пластина за-

жимается в специальном кварцедержателе так, что заходы серебра на тонких гранях контактируют с пружинами держателя. При подаче на обкладки переменного напряжения пластина кварца начинает колебаться (обратный пьезоэлектрический эффект), сжимаясь и растягиваясь. Одновременно вследствие прямого пьезоэлектрического эффекта на гранях ее, а значит и на обкладках, появляются заряды, изменяющиеся по величине и знаку. Если частота приложенного напряжения равна собственной частоте механического резонанса пластинки, определяемой по формуле $\lambda_m = 110 \div 150\,l$, где l — толщина или длина пластинки, то колебания становятся весьма интенсивными, и на обкладках пластинки развивается значительное напряжение.

По сравнению с обычным колебательным контуром, кварцевая пластинка имеет значительно большее сопротивление, чрезвычайно большую индуктивность и очень малую емкость, включенные последовательно. Параллельно этим элементам оказывается включенной емкость кварцедержателя, значительно превышающая емкость кварца, а потому мало сказывающаяся на частоте контура. Затухание такого контура значительно меньше затухания обычного контура.

В курсах радиопередатчиков доказывается, что частота колебаний кварцевого генератора весьма стабильна. В практике применяется несколько срезов кварцевых пластин (т. е. пластины, вырезанные параллельно оси X, под различными углами к оптической оси Z[1]), различающихся температурной стабильностью.

Пластины среза АТ (угол с оптической осью 35°) применяются в диапазоне частот 500 *кгц* — 10 *мгц*. ТКЧ может быть доведен до 10^{-7}. Недостаток — высокая стоимость. Пластины среза ВТ (угол среза = 49°) служат менее дорогим заменителем пластин АТ и менее активны, чем последние.

Пластины среза СТ (угол среза ≈ 38°) применяются в диапазоне 50—400 *кгц*. Пластины среза GT изготовляются из пластин среза СТ и применяются в диапазоне от 100 до 500 *кгц*.

Пластины срезов ВТ и GT сохраняют малое значение ТКЧ в широком интервале температур, почему могут применяться без термостатов; наоборот, пластины других срезов имеют сильно изменяющийся от температуры ТКЧ

[1] Данные срезов приводятся по З. И. Моделю и И. Х. Невяжскому.

и обычно применяются в термостатах, в которых поддерживается температура, при которой ТКЧ пластины имеет наименьшее значение.

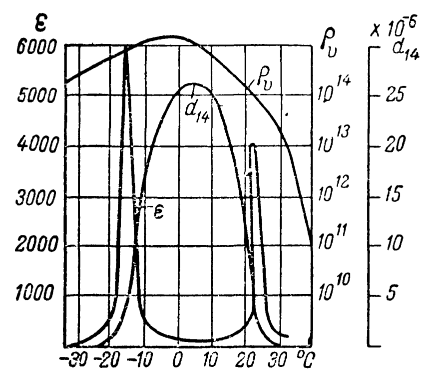
Турмалин имеет значительно больший модуль упругости, чем кварц. Поэтому для одинаковой собственной частоты пластина из турмалина должна иметь значительно большую толщину, чем кварцевая.

В 30-х годах турмалин использовался в некоторых случаях для стабилизации ультравысокочастотных генераторов, так как пластины кварца в этом диапазоне получались слишком тонкими и непригодными для практического применения.

В настоящее время турмалин для стабилизации частоты ламповых генераторов почти не применяется вследствие дефицитности, дороговизны, а также потому, что найдены решения задачи кварцевой стабилизации УВЧ путем возбуждения пластин кварца на гармониках, умножения частоты и т. п.

Сегнетова соль — двойная виннокислая соль натрия и калия ($K, NaC_4O_4H_6 \cdot 4H_2O$); выращивается в виде кристаллов ромбической формы из водных растворов. Кристаллы распиливаются на пластины. Механизм прямого и обратного пьезоэлектрического эффектов у сегнетовой соли такой же, как у кварца, но величина пьезоэлектрического модуля значительно больше ($2{,}4 \cdot 10^{-5}$). Из пластин сегнетовой соли делают пьезорепродукторы, пьезотелефоны, пьезоадаптеры и пьезомикрофоны. В пьезорепродукторах пластина сегнетовой соли механически скреплена с диффузором. К пластине подводится напряжение звуковой частоты. Благодаря обратному пьезоэлектрическому эффекту пластина колеблется, т. е. линейные ее размеры изменяются с частотой приложенного напряжения и пропорционально его величине. Колебания пластины передаются диффузору, в результате колебаний которого возникают звуковые волны, воспринимаемые ухом. В пьезоадаптерах пьезопластина механически скреплена с иглой, которая движется по канавке граммофонной пластинки. Поперечные отклонения канавки, соответствующие звукозаписи, вызывают колебательные отклонения иголки, передающиеся пластине сегнетовой соли. Колебания пластины благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту приводят к появлению переменного электрического напряжения. Усилением этого напряжения и подведением его к репродуктору достигается воспроизведе-

ние звукозаписи. Пьезомикрофон представляет собой пластину сегнетовой соли, на которую оказывается изменяющееся давление при передаче звука. Изменение давления благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту приводит к об-



Фиг. 9. Зависимость ε, ρ_v и d сегнетовой соли от температуры.

разованию переменного напряжения звуковой частоты, которое используется обычным путем.

Перечисленные электроакустические приборы, выполненные на основе использования пьезоэлектрического эффекта сегнетовой соли, обладают рядом достоинств: малым весом,

Таблица 17

Свойства пьезоэлектриков

Свойства	Единица измерения	Кварц	Турмалин	Сегнетова соль
Плотность	$г/см^3$	2,5÷2,8	2,9÷3,2	1,766
Водопоглощаемость . . .	%	0,0	0,0	Растворяется в воде
Теплопроводность	*кал/см сек* °С	0,032	0,017	—
Диэлектрическая проницаемость	—	4,2÷5	5,6÷7,1	До 9 300
Удельное объемное сопротивление	*ом·см*	10^{17}	10^{16}	10^{14}
Наибольший пьезоэлектрический модуль	—	$6{,}45 \cdot 10^{-8}$	$5{,}78 \cdot 10^{-8}$	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$

малыми габаритами, удовлетворительными и даже хорошими электроакустическими свойствами при относительной дешевизне.

Недостатком сегнетовой соли является большая гигроскопичность, поэтому кристаллы необходимо предохранять от влаги полистирольным лаком. Наиболее существенным недостатком является сильнейшая зависимость диэлектрической проницаемости, удельного объемного сопротивления и пьезоэлектрического модуля сегнетовой соли от температуры (см. фиг. 9) за пределами интервала температур от —18 до +23° С (нижняя и верхняя точки Кюри). При повышении температуры выше 28° С работа кристаллов сегнетовой соли резко ухудшается, при температуре выше 35° С они практически неработоспособны. Кристаллы сегнетовой соли плавятся при температуре 54° С, переходя в аморфное состояние, и окончательно выходят из строя; однако нагрев уже до температуры 45—50° С приводит к необратимому уменьшению чувствительности кристаллов.

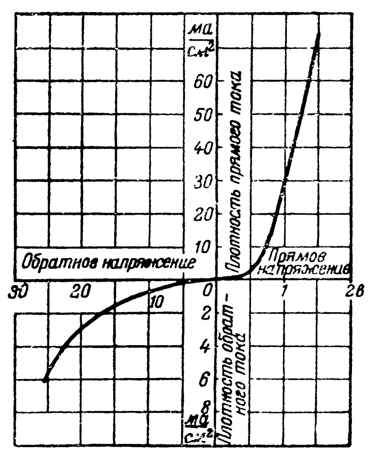
Свойства основных пьезоэлектриков приведены в табл. 17.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ
ПОЛУПРОВОДНИКИ

ГЛАВА ВОСЬМАЯ
СУХИЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

1. СУХИЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

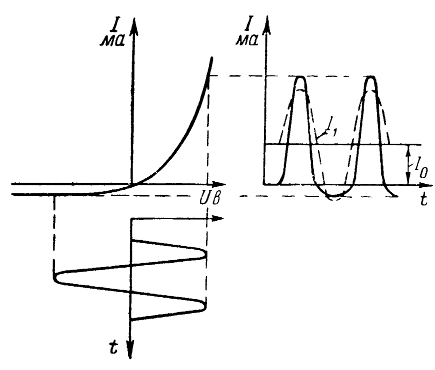
Сухими выпрямителями принято называть материалы с ярко выраженной односторонней проводимостью, у которых электрическое сопротивление в одном направлении во много раз меньше, чем в обратном. Сухой выпрямитель состоит из металлической пластинки и нанесенного на нее слоя полупроводника. Односторонняя проводимость наблюдается на границе металла и полупроводника, называемой запирающим слоем. Если к пластинке сухого выпрямителя приложить напряжение и постепенно повышать его, измеряя зависимость величины тока от напряжения в обоих направлениях, т. е. сняв одну такую зависимость, изменить полярность напряжения, приложенного к выпрямителю, и повторить измерение, то получится так называемая вольтамперная характеристика, показанная на фиг. 10. Из данных фиг. 10 видно, что пластина сухого выпрямителя в одном направлении хорошо проводит ток и, следовательно, имеет малое сопротивление, а в другом направлении проводит ток плохо и, следовательно, имеет большое сопротивление. Напряжение, при кото-



Фиг. 10. Вольтамперная характеристика сухого выпрямителя.

ром протекает большой ток, называется прямым напряжением и соответствующий ему ток — прямым током. Ток и напряжение противоположной полярности (малый ток) называются соответственно обратным током и обратным напряжением. Если к такой пластине приложить переменное напряжение, то получится обычное явление выпрямления тока, показанное на фиг. 11.

Способностью выпрямления обладают многие соединения: Cu_2O, Cu_2S, MnO_2, PbO_2, селен и др. Все это сухие соединения, отсюда и название сухие выпрямители. Наиболее широкое распространение получили два типа сухих выпрямителей — купроксные и селеновые.



Фиг. 11. Механизм выпрямления сухим выпрямителем.

Купроксные выпрямители. Для изготовления купроксных выпрямителей круглые или квадратные медные пластины, толщиной около 1 *мм*, нагревают до температуры 1 050° С. В результате нагревания на их поверхности образуется слой закиси меди Cu_2O, являющийся полупроводником. Затем пластины охлаждаются и вновь нагревают до 500—600° С в присутствии кислорода, что позволяет снизить сопротивление запирающего слоя. После второго нагревания часть закиси очищают, и для уменьшения переходного сопротивления закиси меди ее покрывают тонким слоем мелкозернистого графита, проникающего в поры закиси. Одним электродом служит сама медная пластина, а вторым — свинцовая прокладка, плотно прижимаемая к слою закиси меди. Допустимая рабочая температура купроксного выпрямителя от —40 до +45° С. При температуре выше 45° С электрические свойства купроксного выпрямителя резко ухудшаются: сопротивление в обратном направлении настолько уменьшается, что обратный ток может стать равным прямому, т. е. уничтожаются выпрямляющие свойства. Нагрузка купроксного выпрямителя ограничивается допустимой рабочей температурой и не превышает 50 *ма/см*² (средняя 30—35 *ма/см*²). При наличии искусствен-

ного охлаждения удельную нагрузку можно повысить на 30%. Коэффициент полезного действия в условиях номинальной нагрузки колеблется в пределах 20—30%. Допустимое обратное напряжение на одну пластину 10—12 *в*, падение напряжения в прямом направлении 1,5—2,5 *в*. Для получения больших напряжений отдельные пластины собирают в столбики, соединяя их последовательно, а для получения более высоких значений выпрямленного тока отдельные пластины и столбики включают параллельно. Обычно пластины купроксных выпрямителей включают в сложные параллельно-последовательные мостиковые схемы. Сведения о выпускаемых отечественной промышленностью купроксных столбиках даются в табл. 18.

Селеновые выпрямители состоят из алюминиевых или железных никелированных пластин толщиной 0,8—1,5 *мм*, покрытых с одной стороны слоем селена. Селен наносится путем наплавления при температуре 250° С с последующим опрессовыванием для получения ровного слоя толщиной около 0,1 *мм*. Для снижения сопротивления запирающего слоя шайбы нагревают до 215° С и затем выдерживают в парах серы при температуре 150° С. После этого наносят слой катодного сплава, состоящего из кадмия, олова и висмута, имеющего температуру плавления 105°С. Запорный слой селенового выпрямителя создается не при изготовлении, а в результате специальной электрической формовки под напряжением. В процессе формовки к пластине селенового выпрямителя подводят постоянное напряжение и постепенно повышают его так, чтобы обратный ток достиг 10 *ма/см²*. Селеновый выпрямитель, бывший длительное время без употребления, необходимо формовать перед эксплоатацией, так как после длительного бездействия он теряет выпрямляющие свойства.

Наивысшая допустимая рабочая температура селеновых выпрямителей + 75° С. Старение сопровождается повышением сопротивления в направлении прямого тока и ускоряется с повышением температуры. Срок службы селеновых выпрямителей колеблется от 3 000 до 25 000 часов. Пробой селеновой выпрямительной пластины происходит при 50—80 *в* и сопровождается расплавлением катодного сплава с образованием стекловидного селена. В месте пробоя стекловидный селен является электроизолирующим материалом. Поэтому после пробоя селеновый выпрямитель может работать, если пробой не привел к короткому замыканию.

Таблица 18

Купроксные выпрямительные столбики
(по данным Б. А. Пионтковского)

Тип столбика	Число пластин в одном плече, шт.			Число плеч, шт.	Общее число пластин в столбике, шт.	Допустимое напряжение (переменное) *в*	Выпрямленный ток, *а*	Выпрямленное напряжение, *в*	Размер столбика, *мм*	
	последовательно соединенных в 1 ветви	число параллельных ветвей в плече	всего пластин в плече						длина, *мм*	диаметр, *мм*
ВК-102	35	1	35	1	35	280	0,4	140	200	65
ВК-105	44	1	44	1	44	352	0,4	176	185	65
ВК-106	70	1	70	1	70	560	0,4	280	265	65
ВК-112	40	1	40	1	40	320	0,4	160	160	65
ВК-104	2	18	36	1	36	16	7,2	8	240	65
ВК-109	12	5	60	1	60	96	2,0	48	215	65
ВК-113	3	15	45	1	45	24	6,0	12	160	65
ВК-118	2	23	46	1	46	16	9,2	8	185	65
ВК-107	6	3	18	2	36	50	1,2	24	185	65
ВК-114	20	2	40	2	80	120	0,6	80	275	65
ВК-119	4	6	24	2	48	32	2,4	16	185	65
ВК-103	6	3	18	4	72	50	1,2	24	265	65
ВК-115	4	3	12	4	48	24	1,2	16	200	65
ВК-116	6	1	6	4	24	36	0,3	24	140	65
ВК-117	6	2	12	4	48	50	0,8	24	185	65
ВК-120	4	2	8	4	32	32	0,8	16	185	65

Коэффициент полезного действия селеновых выпрямителей достигает 85%, падение напряжения на одной пластине в прямом направлении 0,9—1,5 *в*, в обратном направлении — 15—30 *в*. Емкость одной пластины достигает 0,01—0,03 *мкф/см²*; допустимая плотность прямого тока — 50 *ма/см²*, амплитуда испытательного напряжения на прочность — 50 *в*. Из селеновых пластин собирают столбики на различное напряжение и силу тока. В столбике пластины включены параллельно, последовательно или параллельно-последовательно в плечи, а плечи соединены обычно в мостиковые или двухполупериодные выпрямительные схемы.

Данные о селеновых столбиках, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 19.

Таблица 19

Селеновые выпрямительные столбики
(по данным Б. А. Пионтковского)

Тип столбика	Количество пластин в столбике				Выпрямляемое напряжение, *в*	Выпрямленный ток, *а*	Выпрямленное напряжение, *в*	Размеры столбика	
	соединенных последовательно в 1 плече, шт.	соединенных параллельно в 1 плече, шт.	Число плеч в столбике, шт.	всего, шт.				длина, *мм*	диаметр, *мм*
ВС-1	1	2	4	8	13	6	8	140	100
ВС-2	1	4	4	16	13	12	8	240	100
ВС-3	2	2	4	16	26	6	16	240	100
ВС-4	4	1	4	16	52	3	32	240	100
ВС-5	8	1	4	32	120	3	80	410	100
ВС-6	12	1	2	24	220	2	160	410	100
ВС-7	5	6	1	30	55	30	45	365	100
ВС-8	1	3	4	12	14	5	7,5	146	100
ВС-9	1	5	4	20	13	12	8	240	100
ВС-15	6	1	4	24	84	3	48	240	100
ВС-45-1	2	2	4	16	27	0,8	16	150	45
ВС-45-2	4	1	4	16	54	0,4	32	150	45
ВС-45-5	6	1	4	24	75	0,4	42	150	45
ВС-45-6	3	2	4	24	36	0,8	21	150	45
ВС-45-7	3	2	4	24	38	1,0	24	150	45
ВС-45-8	9	1	2	18	100	0,5	62	150	45
ВС-45-10	6	1	4	24	80	0,5	60	200	45
ВС-45-13	2	1	4	8	26	0,4	16	100	45
ВС-45-15	6	3	2	36	76	12	50	260	45
ВС-45-16	7	1	2	14	110	0,3	80	90	45

Сухие выпрямители находят применение в системах питания радиотехнической аппаратуры для зарядки аккумуляторов, питания электромагнитов в устройствах сигнализации, автоблокировки, а также в стабилизаторах и регуляторах напряжения. Их широко используют в электроизмерительной технике. В области высоких частот применение сухих выпрямителей ограничено их большой емкостью.

2. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

Кристаллические детекторы, как и сухие выпрямители, обладают односторонней проводимостью. В отличие от сухих выпрямителей в кристаллических детекторах явление выпрямления тока наблюдается не на больших площадях соприкосновения двух материалов, а при их точечном соприкосновении. Указанное явление односторонней проводимости отмечается при соприкосновении двух материалов с различной электропроводностью как металлов, так и полупроводников с кристаллическим и аморфным строением. Явление односторонней проводимости впервые было открыто у кристаллов и применено для детектирования, почему выпрямители этого типа были названы кристаллическими детекторами.

Дальнейшие исследования показали, что это явление наблюдается и при соприкосновении некоторых металлов. В практической деятельности наиболее пригодными для выпрямления детекторами оказались следующие элементы и соединения: германий, кремний, теллур; окиси цинка, олова, железа, марганца, титана, никеля; сернистые свинец, железо, медь и др. Некоторые из них хорошо детектируют с дополнительным постоянным напряжением. Хорошо детектируют следующие минералы: галенит—гален—свинцовый блеск (PbS), бурнонит ($2PbS \cdot Cu_2S \cdot Sb_2S_3$), пирит — железный блеск (FeS_2), фрейслебенит ($5(Pb, Ag)_2S \cdot 2Sb_2S_3$), джемсонит ($FeS \cdot 3Sb_2S_3 \cdot 4PbS$), цинкит — красная цинковая руда (ZnO), кремний — силикон (Si), теллур (Te), алтаит ($Pb \cdot Te$), нагьягит ($Au_2 \cdot Sb_2 \cdot Pb_{10} \cdot Te \cdot S_{15}$).

В кристаллических детекторах кристалл работает в паре с металлом (при этом металл устанавливается на кристалле в виде пружинящего острия) или кристалл в паре с кристаллом.

При изготовлении детекторов их необходимо подбирать из пар, имеющих одинаковую твердость, для предохранения от быстрого срабатывания и обеспечения надежной работы,

например: гален или молибденит со свинцом, серебром, золотом; цинкит с халькопиритом. Кристаллические детекторы применяют в качестве детекторов в детекторных приемниках и в качестве смесителей и детекторов в приемниках деци- и сантиметровых волн, а также в измерительной аппаратуре. Их емкость порядка 0,1 *мкмкф*, рабочий диапазон температур от —40° С до +70° С, к. п. д. примерно 50%. Полярность кристалла называется положительной, если выпрямленный ток течет по направлению от кристалла к металлу. Большинство кристаллов имеет постоянную полярность. Положительной полярностью обладает магнетит, ильменит, графит, кремний, станит, ковеллин. Отрицательная полярность отмечена у пирита, карборунда, теллура, каситерита, бурнонита. Чувствительность кристаллического детектора зависит от состояния поверхности соприкасающихся материалов. Если поверхность их загрязнена или покрыта окислами, то чувствительность резко снижается.

Ниже приводятся сведения о некоторых кристаллических детекторах.

Галенит (гален или свинцовый блеск) образует детектор в паре с графитом, медью, никелином, сталью, латунью, серебром и теллуром. Галеновые пары обладают очень большой чувствительностью, но мало устойчивы. Гален добывают в природных условиях в виде кристаллов и получают искусственным путем. Искусственный гален изготовляют путем обжига при температуре 120° С естественного галена в атмосфере серных паров или в парах серы со следами селена, а также путем плавления порошка естественного галена с серой в закрытом тигле, в течение 20—30 мин., с последующим медленным охлаждением. Кроме того, гален можно изготовить из свинца и серы. Для этого сначала расплавляют свинец (327° С), затем добавляют серу и 1—2% серебра. Гален можно получить также путем сплавления 93—95% сернистого свинца с 5—7% свинца. Искусственные кристаллы обычно лучше работают, чем естественные.

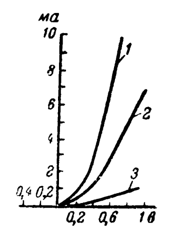
Вольтамперная характеристика галенового детектора дается на фиг. 12, где кривая *1* соответствует постоянному току, кривая *2* — длине волны 400 *м* при отсутствии нагрузки; кривая *3* — длине волны 400 *м* и нагрузке 500 *ом*.

Германий-сталь — одна из лучших детекторных пар, обладает большой чувствительностью и очень устойчива в работе. Германий — химический элемент, добывае-

мый в природных условиях. Германиевые детекторы особенно широко используются в технике сантиметровых и дециметровых волн для преобразования частоты и детектирования.

В последнее время германиевые кристаллы начинают применять для генерирования и усиления колебаний низкой и высокой частоты.

Графит-сталь — детекторная пара, обладающая малой чувствительностью, но очень устойчивая в работе. Графит — кристаллический углерод, добываемый в природных условиях — ископаемое сырье.



Фиг. 12. Вольтамперные характеристики галенового детектора.

Карборунд образует детекторы в паре со сталью, латунью, пиритом, медью и нейзильбером. Все эти детекторы имеют малую чувствительность, но устойчивы в работе. Карборунд — карбид кремния, изготовляется путем сплавления кокса и песка в пламени электрической дуги. Карборунд в паре со стальной иглой образует устойчивый детектор при дополнительном напряжении около 1,5 *в*.

Молибденит можно применять в паре с серебром и медью. При этом получаются детекторы средней чувствительности с очень большой устойчивостью в работе. Молибденит часто называют молибденовым блеском. Это минерал, добываемый в природе в виде кристаллов.

Пирит приобретает способность детектировать в паре с медью, халькопиритом, алюминием и окисью цинка.

Детекторы из пирита имеют большую чувствительность и большую устойчивость в работе. Пирит и халькопирит — минералы, добываемые в природе в виде кристаллов. Пирит называют серным или железным колчеданом; халькопирит — медным колчеданом.

Силикон (кремний) применяют в паре с медью, сталью и халькопиритом. Получаемые при этом детекторные пары — лучшие из существующих. Они обладают большой чувствительностью и устойчивостью в работе. Силикон — кристаллический кремний, искусственный материал, получаемый путем прокаливания чистого песка в присутствии металлического магния с последующим растворением в расплавленном цинке и обработкой соляной кислотой.

Халькопирит детектирует в паре с алюминием

и медью. Халькопиритовые детекторы обладают малой чувствительностью, но устойчивы в работе.

Цинкит соединяют с медью или халькопиритом. Наибольшей известностью пользуются детекторы из цинкита и халькопирита, называемые периконами, которые обладают очень большой чувствительностью и устойчивостью в работе.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ
ТЕРМИСТОРЫ

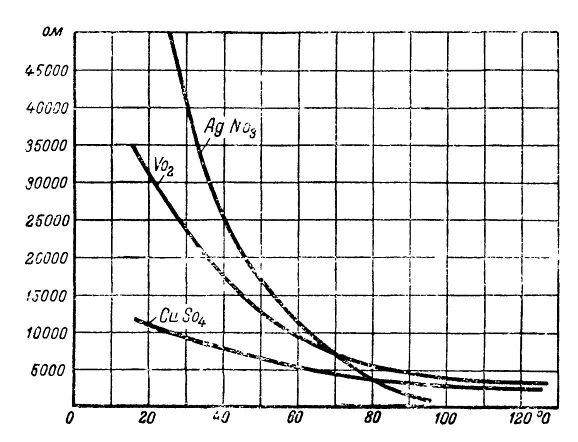
Термисторы — материалы с большим температурным коэффициентом сопротивления, т. е. такие, у которых с изменением температуры резко меняется величина сопротивления. Термисторы применяются для изготовления переменных сопротивлений, изменяющих свою величину от температуры, для изготовления термометров, для температурной компенсации, для измерения мощности на сантиметровых волнах, для ограничения пускового тока мощных ламп, в цепях реле для установления выдержки времени срабатывания. Термисторы делаются из окиси урана (UO_2), окиси меди (CuO), смеси окиси меди и окиси марганца ($CuO + Mn_3O_4$), смеси окисей титана и магния ($TiO_2 \cdot MgO$), сернистого серебра, окиси цинка и т. п. Во всех случаях химически чистый порошок окиси или сернистого соединения сушится, затем спрессовывается и обжигается при температуре порядка 900 ÷ 1 300° С. Получаемые таким образом керамические материалы имеют свойства, показанные

Таблица 20

Свойства термисторов
(по данным Б. Коломийца)

Термисторы	Электропроводность при 20° С, $ом^{-1} \cdot см^{-1}$	% изменения электропроводности при нагревании на 1° С (20—26° С)
Сернистое серебро (Ag_2S)	$2 \cdot 10^{-2}$	—3,8 до —5
Окись меди и марганца ($CuO+Mn_3O_4$)	$10^{-1} \div 10^{-2}$	—3÷—3,2
Окись урана (UO_2)	$1,3 \cdot 10^{-3}$	—3,2
Окись марганца и никеля (Mn_3O_4+NiO)	10^{-6}	—3,2
Окись меди и хрома ($CuO \cdot Cr_2O_3$) .	10^{-3}	—2,8
Окись кобальта (Co_3O_4)	$1,5 \cdot 10^{-3}$	—2,7
Окись меди (CuO)	$10^{-2} \div 10^{-6}$	—2,6
Окись титана и магния ($TiO_2 \cdot MgO$)	$1,6 \div 10^{-2}$	—1,3

в табл. 20. Изменяя температуру обжига и процентное соотношение тех или иных составных частей, можно получить термисторы с необходимым температурным коэффи-



Фиг. 13. Зависимость сопротивления термисторов от температуры.

циентом и с самой различной электропроводностью. Характер изменения сопротивления термистора от изменения температуры показан на фиг. 13.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Поглощающие материалы предназначены для поглощения больших мощностей. Они должны иметь большой tg δ — порядка 1 и диэлектрическую проницаемость не менее 40; быть влаго- и теплостойкими, вносить большое затухание и обладать хорошей теплопроводностью.

Поглощающие материалы могут быть изготовлены по типу керамики или в виде пластмасс. Для изготовления поглощающей керамики к обычной массе электрофарфора или радиостеатита добавляют до 10% карбида кремния (SiC), затем обжигают. Полученный таким образом материал керамического типа имеет диэлектрическую проницаемость порядка 35—40 и в области сантиметровых волн достаточно большое значение величины tg δ. Поглощаю-

щие пластмассы делают на основе бакелитовой смолы, для чего в нее добавляют до 45% графита. Диэлектрическая проницаемость такого материала достигает 70; $\operatorname{tg}\delta = 1{,}1$.

Поглощающие материалы применяются в радиолокационной технике.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы, способные под действием световых лучей излучать электроны или изменять свои электрические свойства (проводимость), называются фотоэлектрическими.

Ток, возникающий под действием световых лучей, называется фототоком, а процесс возникновения тока под действием световых лучей — фотоэлектрическим эффектом. Фото в переводе с греческого — свет. Следовательно, фототок — светоток, фотоэлектрические материалы — светоэлектрические материалы. В радиотехнике используется внешний или внутренний фотоэлектрический эффект. Если при облучении светом энергия, приобретенная свободными электронами, настолько велика, что они могут покинуть материал, т. е. материал излучает электроны, то имеет место внешний фотоэлектрический эффект. Если под действием света при одновременном наложении электрического напряжения в теле материала появляется или изменяется электрический ток, то имеет место внутренний фотоэлектрический эффект. Внешним фотоэлектрическим эффектом обладают металлы; наиболее ярко он выражен у щелочных металлов (лития, натрия, калия, цезия) и щелочноземельных металлов. Внутренний фотоэлектрический эффект наблюдается в некоторых диэлектриках и полупроводниках. Кроме того, фотоэффект отмечен на границе полупроводников, соприкасающихся с металлами, наиболее сильно у селена и сернистого таллия.

Фотоэлектрические материалы неодинаково реагируют на различные части светового спектра. У одних наибольший ток появляется в области ультрафиолетовых лучей, у других при облучении инфракрасными лучами. Граничная длина световой волны, при которой прекращается вырывание электронов из материала под действием света, называется волновой границей или порогом фотоэффекта. Фотоэлектрические материалы применяются для изготовления фотоэлементов.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ
ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕТАЛЛЫ

Физико-механические и электрические свойства металлов, применяемых в радиотехнике, приводятся в табл. 21.

Медь — наиболее широко применяемый в радиотехнике проводниковый материал, имеющий малое удельное объемное сопротивление, равное 0,0175 *ом мм²/м*. Среди известных веществ только серебро имеет меньшее удельное сопротивление. Для целей электро- и радиотехники применяется особо чистая электролитическая медь, содержащая не более 0,1% примесей. Электропроводность меди, ее механическая прочность и пластичность зависят от температуры отжига. Твердотянутая, не подвергавшаяся термической обработке медь имеет большую механическую прочность на разрыв, малую пластичность и повышенное удельное сопротивление (0,018 *ом мм²/м*). Отожженная медь становится мягкой, пластичной; электропроводность ее повышается, а механическая прочность уменьшается.

Медь отжигают при температуре 400—700° С, для чего ее постепенно нагревают до температуры отжига, а затем постепенно же охлаждают. Проволока, подвергшаяся отжигу, выпускается под маркой ММ — медь мягкая, отожженная; проволока, не подвергавшаяся отжигу, выпускается под маркой МТ — медь твердая. В последнее время появилась бескислородная медь высокой пластичности. Она получается путем переплавки обычной электролитической меди в восстановительной атмосфере, состоящей из 28% CO; 0,5% CO_2, остальное N_2. Проволока из бескислородной меди выдерживает примерно в два раза больше изгибов и скручиваний, чем такая же проволока из электролитической меди. Медь выпускают в виде проволоки диаметром от 0,03 до 12 *мм* (ГОСТ 2112—46) шин и лент и прямо-

Свойства чистых металлов

Наименование металла	Плотность при 20°С, *г/см*^{3}	Температурный коэффициент линейного расширения $TK_\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/°С	Температура плавления, °С	Удельное объемное сопротивление, *ом·мм*^{2}*/м*	Температурный коэффициент сопротивления 1/°С	Прочность на разрыв, *кГ/мм*^{2}	Удлинение при разрыве, %	Теплопроводность при 20°С *кал/°С сек·см*
Алюминий	2,702	23,03	657	0,0262	0,00423	7	40	0,48
Бериллий	1,84	11,1	1 278	0,055	0,0066	—	—	—
						110	—	—
Вольфрам	19,3	4	3 370	0,049	0,0044	110÷450	1	0,38
Висмут	9,8	13	270	1,06	0,00391	3,5	—	0,019
Железо	7,86	11,7	1535	0,0978	0,00625	25	55	0,14
Золото	19,26	14,2	1 064	0,022	0,00365	14,5	—	0,7
Иридий	22,4	6,5	2 350	0,06	0,00367	—	—	—
Кадмий	8,648	29,8	321	0,0714	0,00375	6	20	0,233
Кобальт	8,9	12,3	1 480	0,097	0,0051	26	20	0,16
Магний	1,74	25,6	650	0,0427	0,0038	9,8	5	—
Марганец	7,2	23	1 244	0,0441	—	—	—	—
Медь	8,94	16,6	1 084	0,0172	0,00395	22	60	0,92
Молибден	10,2	4	2 620	0,0477	0,004794	140÷182	30	—
Натрий	0,97	71	97,6	0,046	0,0051	—	—	0,317
Никель	8,9	12,8	1 451	0,073	0,0062	40÷45	40—50	0,14
Олово	7,30	20	232	0,114	0,00438	2	45	0,157
Платина	21,46	8,9	1 755	0,105	0,00398	15	—	0,166
Ртуть	13,54	182	—38,7	0,958	0,0009	—	—	0,0197
Свинец	11,34	29,2	327	0,206	0,0041	0,95÷2,32	—	0,083
Серебро	10,5	18,9	961	0,016	0,0036	18	50	1,096
Тантал	16,6	7	2 850	0,15	—	90	—	0,13
Цинк	7,14	33	419	0,059	0,0039	15	20	0,265
Хром	7,1	8,2	1 765	0,026	0,0055	—	—	—

угольного провода. (Свойства — в табл. 22). Кроме того, выпускается листовая медь.

К недостаткам меди можно отнести невысокую механическую прочность, малое сопротивление истиранию, резкое падение механической прочности при нагревании до температуры 100° С. Устранение этих недостатков достигается путем сплавления меди с различными металлами. Такие сплавы называются бронзами.

Бронза — сплав меди с различными элементами, например, оловом, кадмием, магнием, фосфором или кремнием. Состав, электропроводность и механическая прочность различных марок бронзы, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 22. Среди них кадмиевая бронза обладает наибольшей электропроводностью, хорошей механической прочностью и в три раза лучше сопротивляется истиранию, чем твердотянутая медь. Кроме того, будучи нагретой до 250° С, кадмиевая бронза не теряет своей механической прочности, в то время как медь при этой температуре полностью отжигается. Бериллиевая бронза отличается высокой механической прочностью и хорошо сопротивляется износу. Ее применяют для изготовления проводов высокой прочности, пружинных, штепсельных и скользящих контактов, зажимов, ножей и губок выключателей и переключателей. Бериллиевая бронза не боится нагрева до 250° С. Купаллой сохраняет высокую механическую прочность при нагреве до 400° С и имеет хорошую электропроводность. Его применяют в аппаратуре, работающей с большой механической и электрической нагрузкой. Фосфористая бронза, так же как и бериллиевая, идет для производства токопроводящих пружин и скользящих контактов реостатов, переменных конденсаторов и т. п.

Латунь — сплав меди с 30—40% цинка с добавлением свинца и олова. Латунь применяется как конструктивный материал, имеющий удовлетворительную электропроводность (свойства в табл. 22).

Алюминий получают путем электролиза из окиси алюминия. По величине электропроводности алюминий стоит на третьем месте среди существующих металлов. Удельная проводимость алюминия составляет примерно 62% от проводимости стандартной меди, но благодаря легкости алюминия он имеет на единицу веса вдвое большую, чем медь, проводимость, т. е. линия электропитания из алюминия в два раза легче медной, имеющей такое же сопротив-

ление. Основным недостатком алюминия является малая механическая прочность, почти в три раза меньшая, чем у меди. Механическая прочность алюминия зависит от отжига. Если отожженный алюминий, выпускаемый под маркой АМ, имеет прочность на разрыв 9 *кГ/мм*² и удлинение при разрыве достигает 45%, то твердый, не отожженный, идущий под маркой АТ, имеет прочность на разрыв 18 *кГ/мм*² при удлинении 1,5%. Некоторое повышение прочности, примерно до 25 *кГ/мм*², достигается путем дополнительного проката. В случае длительного нагрева механическая прочность твердотянутого алюминия начинает падать при температуре 70—90° С. Для повышения механической прочности алюминия его сплавляют с долями процента кремния, железа и магния. Получаемый при этом материал называется альдрей. Альдрей имеет повышенную механическую прочность на разрыв (31—34 *мГ/мм*²) и применяется для линий электропередач. В радиотехнике алюминий применяют в виде алюминиевой фольги в электролитических и бумажных конденсаторах; из листового алюминия изготовляют пластины, каркасы и прочие детали воздушных конденсаторов переменной емкости. Алюминиевые листы применяют как конструктивный материал для изготовления панелей и каркасов аппаратуры. Алюминий хорошо поддается всем видам обработки. При опиловке алюминия рекомендуется применять напильники с особо острой насечкой, а резцы и фрезы необходимо затачивать острее, чем при обработке других материалов. Распространено изготовление алюминиевых деталей литьем. Алюминий стоек в отношении коррозии, так как покрывается на воздухе оксидной пленкой, которая хорошо предохраняет его от дальнейшего окисления. Для конструктивных целей широко применяются твердые сплавы алюминия, например дюралюминий, обладающий несколько большей плотностью и значительно более высокими механическими параметрами, чем алюминий. Дюралюминий применяется листовой, угловой и в трубах.

Сталь и железо. Всякий сплав железа, содержащий от 0,01% до 1,7% углерода, считается сталью. Исторически деление на железо и сталь было проведено на основании чисто технологических признаков, в соответствии с которыми к железу отнесли сплавы, содержащие до 0,1% углерода и минимальное количество других примесей. В радиотехнике принято последнее подразделение на железо и сталь. Отсюда

Свойства меди, бронз, латуней и алюминия,

Наименование и состав	Плотность, $г/см^3$	Прочность на разрыв, $кГ/мм^2$	Удлинение при разрыве, %	Твердость по Бринеллю, $кГ/мм^2$
Медь М-1 (Cu—99,9%)	8,93	27÷30	6÷3	120
Алюминий А-1 (Al—99,3%)	2,71	11	6	32
Латунь Л-68 (Cu—68%, остальное Zn)	8,6	30÷32	40	52
Латунь Л-62 (Cu—62%, остальное Zn)	8,5	30÷35	35÷40	56
Латунь Л-59 (Cu—60%, Pb—1,9%, остальное Zn)	8,65	35	20	75÷150
Оловянистая бронза БР-ОФ (Sn—67%, P—0,4%, остальное Cu)	8,65	55÷60	5÷3	130÷160
Оловянистая БР-ОЦ (Zn—3%, Sn—4%, остальное Cu)	8,8	55÷60	5÷3	130÷160
Бронза АМЦ 9—2 (Al—9%, Mn—2%, остальное Cu)	7,63	55÷60	5÷15	160
Бронза АЖ 9—4 (Al—9%, Fe—3%, остальное Cu)	7,6	55	5	110÷180
Бронза КМЦ 3—1 (Mn—1,5%, Si—3%, остальное Cu)	8,8	60÷56	3,5	180
Бронза Б (бериллиевая) Be—2%, остальное Cu	8,25	70÷85	1,5	100÷400
Бронза хромистая (Cr от 0,5% до 0,85%, остальное Cu)	—	50÷40	10÷30	120÷140
Кадмиевая бронза (Cd—0,9%, остальные Cu)	—	73	4	—
Купаллой (Cr—0,3—1%, Ag—0,1%, остальное Cu)	—	52÷55	20÷25	140÷160

применяемых в электро- и радиотехнике

Температурный коэффициент сопротивления (20—100° С), умноженный на 10^{-6} 1/°С	Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*	Электропроводность по отношению к меди, %	Температура отжига, °С	ГОСТ	Область применения
16,42	0,92	100	500÷700	859—41	Для токопроводящих деталей, экранов
24	0,52	57÷62	350÷410	—	То же
19	0,26	25,5	600÷700	1019—47	Для деталей, изготовляемых вытяжкой
20	0,20	25,5	600÷700	1910—47	Для штампуемых деталей
19	0,25	29,8	600÷650	1910—47	Для деталей, обрабатываемых резанием
17,7	0,13	—	630÷650	1761—42	Для пружин, мембран, сильфонов
—	—	—	630÷650	1761—42	
17	0,17	—	650÷750	493—43	Детали, работающие на истирание при высокой температуре и испытывающие большие ударные нагрузки
18	0,14	59	700÷750	493—43	
14,9	0,15	—	—	1789—42	Для пружин и контактов
17	0,2	30	650÷700	1789—42	Для деталей, устойчивых в отношении коррозии, с высокой механической прочностью
—	—	80÷05	—	—	
—	—	83÷90	—	—	
—	—	80÷90	—	—	

и названия железо Армко, карбонильное железо, электролитическое железо и т. п., несмотря на то, что они содержат более 0,01% углерода.

Железная проволока в качестве проводника тока особенно широко эксплоатируется в радиотрансляционной технике в виде фидерных линий и для абонентской проводки. Железная проволока имеет удельное объемное сопротивление в 7—8 раз выше, чем у меди, и быстро разрушается под действием коррозии, но отличается большой механической прочностью и низкой ценой по сравнению с медью и алюминием.

Цинк может применяться только как суррогат проводниковых материалов, так как его сопротивление в три раза выше, чем меди, и при нагревании до 100° С цинк теряет прочность на 60—70% (медь на 9%). Сопротивление цинка коррозии ниже, чем алюминия. Кроме того, он имеет низкое сопротивление к длительной механической нагрузке.

Висмут используется, главным образом, в измерительной технике, благодаря следующим свойствам: 1. Его удельное сопротивление увеличивается под действием магнитного поля, поэтому спирали из висмута применяют для измерения напряженности магнитного поля. 2. Термопара, состоящая из висмута и серебра дает большую термоэлектродвижущую силу — 80 *мкв* на 1° С.

Ртуть — единственный металл, находящийся в жидком состоянии при 20° С. В радиотехнике ртуть применяется в ртутных колбах для мощных выпрямителей, для контактов и т. п.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ
СПЛАВЫ ВЫСОКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сплавы высокого сопротивления подразделяются на три группы: сплавы для эталонов сопротивлений, сплавы для сопротивлений и реостатов и сплавы для электронагревательных элементов.

1. СПЛАВЫ ДЛЯ ЭТАЛОНОВ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Сплавы для эталонов сопротивлений должны иметь очень большое постоянство сопротивления во времени, близкий к нулю температурный коэффициент сопротивления, малую термоэлектродвижущую силу в паре с другими металлами (особенно с медью), достаточно высокое удельное сопротив-

ление и высокую стойкость против коррозии. Среди сплавов для эталонов сопротивлений наиболее широкое распространение получил манганин.

Манганин — сплав золотистого цвета, состоящий из 86% меди, 12% марганца и 2% никеля. Для получения устойчивости величины сопротивления манганина во времени его выдерживают 10 часов при температуре 140° С, а затем оставляют на несколько месяцев при температуре 20 ± 5° С. Отжиг манганина производят при температуре 375—400° С в нейтральной среде. В настоящее время разработаны новые марки манганина с содержанием марганца выше 60%, от 16% до 30% никеля, остальное медь. Эти марки отличаются большим удельным сопротивлением и имеют практически равные нулю термо- э. д. с. и температурный коэффициент сопротивления.

Сплавы NBW-108 и NBW-173 состоят из серебра с присадкой олова и марганца. В процессе изготовления выдерживают при 175° С. Оба сплава NBW-108 и 173 стабильны во времени и, помимо эталонов сопротивлений, могут применяться в качестве баллистических сопротивлений в приборах высокой точности.

Свойства сплавов для эталонов даются в табл. 23.

Таблица 23

Сплавы для эталонов, реостатов и сопротивлений

Наименование сплава	Удельное объемное сопротивление, *ом·мм²/м*	Допустимая рабочая температура, °С	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°С·10⁻⁶	Термо- э. д. с. в паре с медью, *мкв*/1°С	Область применения
Новый манганин	1,88	60	0,0	0	Для эталонов сопротивлений
Манганин	0,4÷0,48	60	От 5 до 6	0,9—2	
Сплав NBW-108	0,5	—	0,0	0,5	
Сплав NBW-173	0,46	—	0,0	2,0	
Новоконстантан	0,45	—	1	—0,3	Сплавы для сопротивлений и реостатов
Изобеллин	0,5	—	0	—0,2	
Сплав А (терло)	0,45	—	1	—0,3	
Константан	0,44÷0,52	400	5	30—40	
Нейзильбер	0,35	150	30	14,4	
Никелин	0,42	150	200	20	
Ферроникель	0,83	600	1 000	—	
МСМ-1	0,85	500	6 000	—	

2. СПЛАВЫ ДЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ И РЕОСТАТОВ

Сплавы для сопротивлений и реостатов должны быть дешевыми, иметь большое удельное сопротивление и малый температурный коэффициент сопротивления.

Константан — сплав 60% меди и 40% никеля, получил свое название от слова «константа», т. е. величина постоянная, так как имеет малый температурный коэффициент сопротивления. Он дает большую термо- э. д. с. в паре с медью и другими металлами, поэтому широко применяется в производстве термопар, служащих для измерения температуры до 700° С. Наличие высокой термо- э. д. с. не позволяет применять константан для изготовления эталонов сопротивлений и сопротивлений для точных приборов, так как дополнительная э. д. с. вносит ошибку в показания приборов. Константан выпускается в виде проволоки, диаметром от 0,03 до 3 *мм* и лент сечением от 1×4 *мм* и выше. Температура плавления константана 1 270° С, температурный коэффициент линейного расширения $1{,}22 \cdot 10^{-5}$ 1° С, прочность на разрыв — 40—65 *кГ/мм*², удлинение при разрыве — 28%. Константан широко применяется в радиотехнике для изготовления сопротивлений.

Изобеллин, новоконстантан, сплав А(Терло), сплавы типа манганина, содержащие, помимо меди и марганца, алюминий. Все эти сплавы, как видно из данных табл. 23, имеют малую термо- э. д. с. в паре с медью (не более 1 *мкв* на 1° С) и весьма малый температурный коэффициент сопротивления, порядка $0—2 \cdot 10^{-6}$ на 1° С. Применению их в точных приборах препятствует непостоянство свойств различных образцов. Их применяют в качестве сплавов для сопротивлений и реостатов.

Нейзильбер и никелин — сплавы типа константана, состоящие из меди и никеля, но более дешевые, чем константан, так как содержат меньше никеля. Эти сплавы применяются главным образом для пусковых и регулировочных реостатов вследствие температурной нестабильности.

3. ЖАРОУПОРНЫЕ СПЛАВЫ

Жароупорные сплавы высокого сопротивления предназначены для изготовления нагревательных элементов электропечей и электронагревательных приборов. Они должны хорошо обрабатываться, быть механически прочными, дешевыми, должны иметь высокое удельное сопротивление

и длительно работать при высокой температуре без окисления.

Стойкость против коррозии металлов и сплавов при повышенной температуре зависит от стойкости оксидной пленки, образующейся на их поверхности при окислении. Такие металлы, как медь, железо и кобальт, имеют пористую оксидную пленку, через которую легко проникают газы и влага, вызывая дальнейшее разрушение металла. У вольфрама и молибдена образующиеся на поверхности окислы легко улетучиваются при нагревании, вследствие чего вольфрам и молибден могут работать только в нейтральной среде, не имеющей свободного, окисляющего их кислорода. У никеля, хрома и алюминия при окислении образуется плотная оксидная пленка, хорошо предохраняющая их от дальнейшего окисления, вплоть до температуры плавления. Поэтому жароупорные сплавы делают на основе никеля, хрома и алюминия с добавлением железа для удешевления, улучшения механических свойств и обрабатываемости. В настоящее время применяют следующие жароупорные сплавы.

Нихромы — сплавы, основную часть состава которых составляет никель. В зависимости от процентного содержания никеля нихромы выпускаются под различными марками I, III, IV и др; распространение получили преимущественно три указанные марки. Нихром обладает хорошей механической прочностью и устойчив против коррозии, поэтому работает длительное время. При первом же нагревании на воздухе на его поверхности образуется плотная электроизолирующая оксидная пленка, благодаря которой нихромовую проволоку можно наматывать виток к витку вплотную, если межвитковое напряжение не превышает 0,5 *в*. Нихром не следует нагревать выше указанной в табл. 24 допустимой рабочей температуры, так как при перегреве он становится хрупким и быстро выходит из строя. Прочность на разрыв нихрома с повышением температуры падает (при 70° С — 27 *кГ/мм*^{2}). Нихром выпускается в виде лент, проволоки и листов диаметром или толщиной от 0,1 *мм* и выше.

Фехраль, хромаль и сплавы № 1, № 2 и № 3 в качестве основы содержат железо и в виде присадки хром и алюминий (см. табл. 24).

Фехраль легко обрабатывается, протягивается в проволоку диаметром до 0,2—0,3 *мм* и прокатывается в тонкую

Свойства сплавов для

Свойства	Единица измерения	ЭКН-60 Нихром
Состав	%	Cr—15÷17, Ni—58÷62, остальное Fe
Плотность	$г/см^3$	8,2
Температура плавления	°C	1 360÷1 370
Допустимая рабочая температура	°C	1 000
Удельное объемное сопротивление	$ом \cdot мм^2/м$	1,08÷1,12
Твердость по Бринеллю	$кГ/мм^2$	180÷200
Температурный коэффициент линейного расширения — $ТК_\lambda \cdot 10^{-6}$	1/°C	12,3
Прочность на разрыв	$кГ/мм^2$	43÷34
Удлинение при разрыве	%	25
Температурный коэффициент сопротивления	1/°C	0,0001

ленту. Длительность работы фехралевой проволоки диаметром 0,2 *мм* при температуре 800—850° С около 1 000 час. Срок службы фехраля, как и других жароупорных сплавов, при высокой температуре резко зависит от диаметра проволоки или толщины ленты. При перегреве выше указанной в табл. 24 допустимой рабочей температуры проволока становится хрупкой и срок службы ее существенно сокращается. Подвергавшиеся нагреву спирали из фехралевой проволоки и ленты не рекомендуется подвергать механическим воздействиям в холодном состоянии. Всякого рода правку, скрутку и т. п. производить при нагреве до 300—400° С.

Хромаль выпускается в виде лент сечением от 20 × 2 *мм* и выше; отличается высокой рабочей температурой и большим удельным сопротивлением.

Таблица 24

электронагревательных приборов

Фехраль	Хромаль	Сплав № 1	Сплав № 2	Сплав № 3
Cr—12÷15, Al—3÷3,5, остальное Fe	C—0,15, Cr—28÷30, Al—3,5÷5, остальное Fe	Cr—16÷17, Al—4,5÷6,5, остальное Fe	Cr—23÷27, Al—4,5÷7, остальное Fe	Cr—40÷45, Al—7,5÷12, остальное Fe
7,60	7,1	7÷7,2	6,9÷7,2	6,8÷7
1 450	1 500	1 450÷1 500	1 450÷1 510	1 560÷1 580
950	1 250	1 000	1 250	1 350
1,2÷1,4	1,4÷1,3	1,3÷1,5	1,4÷1,6	1,8÷2
150÷160	170÷190	150—170	160÷180	240÷260
14,5÷15	15÷16	14,5÷15	14,5÷15	16÷17
70	80	60÷70	70÷80	80÷100
20	21	15÷25	15÷20	2—7
0,0008	0,00004	—	—	—

Сплавы № 1, № 2, № 3 отличаются высоким удельным сопротивлением, теплостойкостью и малым температурным коэффициентом линейного расширения. Из них изготовляют нагревательные спирали и гнутые нагревательные элементы. Все сплавы этой группы, а также хромаль и нихром, нестабильны во времени и от работы при высокой температуре изменяют сопротивление и становятся хрупкими.

Свойства сплавов высокого сопротивления приводятся в табл. 24.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ
МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ
СПЛАВЫ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Сплавы для постоянных магнитов характеризуются широкой и крутой петлей гистерезиса, а, следовательно, большим значением коэрцитивной силы — от 50—60 эрстед до нескольких тысяч эрстед — и большим значением остаточной индукции. Чем эти величины больше, тем меньше материала требуется для изготовления магнита. Сплавы этой группы предназначаются для изготовления постоянных магнитов магнетронов, динамических репродукторов, телефонов, динамических микрофонов, поляризованных реле, электроизмерительных приборов и т. п.

Углеродистая сталь содержит 0,4—1,7% углерода, остальное железо. Углеродистая сталь — самый дешевый материал для изготовления магнитов. Для получения необходимых магнитных свойств сталь подвергают закалке, для чего нагревают до температуры 950° С, а затем охлаждают, погружая в воду. Магниты из углеродистой стали теряют магнитные свойства с течением времени и особенно быстро при сотрясении и ударах. Магнитные свойства углеродистой стали изменяются в зависимости от содержания углерода. В табл. 25 приведены данные для стали с содержанием углерода 0,45%.

Хромистая сталь содержит от 1,3 до 3,8% хрома и выпускается марок: ЕХ-2 с содержанием хрома 1,3 — 1,6%, ЕХ-3 и ЕХ-3А с содержанием хрома 2,8—3,8%. Закалка ее ведется при температуре 850° С в масле (при закалке в воде дает трещины). Отечественная промышленность выпускает хромистую сталь в виде листов и полос различных размеров и поковок. Магниты из нее получают путем загиба по шаблону, штамповкой и механической обработкой поковок для придания требуемой формы. При обработке на станках требуются более твердые резцы, чем

для обработки обычной стали. Закаливают готовые изделия.

Вольфрамовая сталь содержит примерно 5% вольфрама и выпускается под маркой ЕВ и ЕВА. Вольфрамовая сталь обрабатывается так же, как хромистая сталь, но закалка ее производится в воде при 850° С. Коэрцитивная сила вольфрамовой стали в течение 8 лет снижается только на 12%. Это одна из наиболее стабильных сталей.

Кобальтовая сталь содержит от 5 до 30% кобальта и, в зависимости от процентного содержания кобальта, выпускается четырех марок: ЕК5, ЕК10, ЕК15 и ЕК30 (цифра указывает на процентное содержание кобальта). Заготовки для магнитов из этих сталей выполняются в виде проката (полосы), поковок и литья. Кобальтовые стали — хрупкие, поэтому обработку резанием необходимо вести на малых скоростях и по возможности заменять резание шлифованием. Готовые изделия перед намагничиванием должны подвергаться тройной термической обработке: 1) нагретые до 700° С изделия быстро нагревают до 1 150—1 180° С и затем постепенно охлаждают при 20° С; 2) магниты медленно нагревают до 700—725° С и постепенно охлаждают; 3) производят закалку, для чего стали с содержанием до 15% кобальта нагревают до 1 000° С, а стали с содержанием от 15 до 30% — до 940° С, и погружают в масло.

Комоль — кобальто-молибденовый сплав. Заготовки изделий из сплава комоль отливаются в сухих песчаных формах, после чего их можно точить, сверлить и шлифовать. Комоль дороже хромистой и вольфрамовой стали, но дешевле 30% кобальтовой.

Альни, альниси, альнико, сплав КС, магнико-нековкие сплавы на основе железа-никеля-алюминия, получаемые только путем отливки. Все они обладают высокой твердостью и хрупкостью, так что механическая обработка их возможна только шлифовкой камнями с мягкой связкой и твердым зерном. Соединение магнитов из этих сплавов с другими частями конструкции производится сваркой, затяжкой болтами и т. п. Среди приведенных сплавов наиболее высокими магнитными свойствами обладает магнико, полученный лауреатом Сталинской премии проф. А. С. Займовским. Сплавы этой группы имеют исключительно высокие магнитные свойства (см. табл. 25), поэтому их стоимость на единицу запасенной магнитной энергии

Таблица 25

Материалы для постоянных магнитов

Наименование материалов	Коэрцитивная сила, *эр*	Остаточная индукция, *гс*	Максимальная магнитная энергия *эрг/см*^{3}	Относительный вес на единицу магнитной энергии магнико за 1	Состав (недостающее Fe) в %
Углеродистая сталь . .	25÷35	10 200÷12 000	$7{,}1\cdot10^3$	26,7	C—0,45
Хромистая сталь ЕХ-2, ЕХ-3, ЕХ-3А	60÷65	9 000÷9 500	$11\cdot10^3$	17,2	Cr—2—3, C—1
Вольфрамовая сталь ЕВ и ЕВА	58÷68	10 000÷11 300	$12\cdot10^3$	15,8	W—5, C—1
Кобальтовая сталь:					
ЕК-5	90	9 000	$15\cdot10^3$	12,6	Co—5, Cr—5
ЕК-10	130	9 000	$20\cdot10^3$	9,5	Co—10, Cr—5, W—1,59
ЕК-15	200	9 000	$25\cdot10^3$	7,6	Co—15, Cr—8, Mo—1,5
ЕК-30	240	9 200	$37\cdot10^3$	5,1	Co—30, Cr—5, W—5
Комоль	220÷250	10 500÷11 500	$50\cdot10^3$	3,8	Mo—13—17, Co—10—12
Альни	450÷550	5 000÷6 000	$52\cdot10^3$	3,6	Al—12,5, Ni—25, Cu—5
Альниси	800	4 000	$56\cdot10^3$	3,4	Al—14, Ni—34, Si—1
Альнико	450÷580	6 750÷8 000	$61\cdot10^3$	3,1	Al—10, Ni—17, Co—12, Cu—6
Сплав КС	775÷975	6 500÷7 000	$83\cdot10^3$	2,3	Co—18—35, Ni—15—19, Al—6—9, Ti —12
Магнико	520÷650	12 200÷12 500	$190\cdot10^3$	1	Co—24, Si—13, Al—8, Cu—3
Викэллой	530	10 000	$145\cdot10^3$	1,3	Co—63, V—8—14

значительно ниже, чем высококобальтовой стали. Помимо литых магнитов, из этих материалов (исключая магнико) можно изготовлять прессованные и металлокерамические магниты. При прессовании магнитов порошок этих сплавов смешивается со смолой, например бакелитовой, и затем прессуется с применением нагрева. Преимущества прессованных и металлокерамических материалов заключаются в том, что из них можно изготавливать магниты сложной конфигурации.

Викэллой — сплав кобальта, железа и ванадия. Викэллой допускает холодную прокатку, волочение хорошо обрабатывается резанием. Ленты и проволока из викэллоя пластичны. Викэллой дорог и в массовых изделиях не может конкурировать со сплавами альни-магнико. Его применяют в технике звукозаписи и в производстве компасов и буссолей.

Свойства сплавов для постоянных магнитов даны в табл. 25.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Магнитно-мягкие материалы—материалы с высокой магнитной проницаемостью, имеющие узкую, крутую петлю гистерезиса с малыми значениями коэрцитивной силы, при значительной величине остаточной индукции. Эти материалы характеризуются большими значениями проницаемости и применяются для изготовления сердечников дросселей, трансформаторов, электромагнитов реле, электродвигателей и т. п.

Область применения магнитно-мягких материалов в радиотехнике определяется частотным диапазоном, в котором данный материал работает при умеренной величине потерь.

Вообще при звуковых частотах основную роль играют потери на гистерезис и последействие, при высоких частотах преобладают потери на вихревые токи. Поэтому магнитно-мягкие материалы, так же как и электроизолирующие материалы, необходимо подразделять в зависимости от диапазона, в котором они могут работать, на низкочастотные и высокочастотные.

1. МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАБОТАЮЩИЕ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ЧАСТОТ (до 15 *кгц*)

Листовая электротехническая сталь — материал, имеющий наибольшее распространение в радиотехнике при изготовлении сердечников трансформаторов, дросселей, реле, работающих в цепях низкой частоты — цепях силового питания аппаратуры, усилителях низкой частоты и т. п. Для понижения потерь на вихревые токи эти стали выпускаются для 50—100 *гц* листами толщиной 0,5 и 0,35 *мм*, а для звуковых частот — толщиной 0,2 ÷ 0,05 *мм* и в состав стали вводится до 4,5% кремния, который резко повышает ее удельное сопротивление. При изготовлении деталей из листов стали вырубают пластины различной конфигурации, которые затем собирают в пакеты (сердечники). Для изоляции пластин друг от друга, с целью повышения сопротивления вихревым токам, листы стали с одной стороны покрывают изоляционным лаком или оклеивают тонким слоем бумаги, а в некоторых случаях довольствуются слоем окалины, покрывающей стальные пластины после отжига. До настоящего времени стали для целей радиотехники не стандартизированы и изготовляются по специальным заказам. Стали для промышленной частоты (50—100 *гц*) согласно ГОСТ 802—41 выпускаются под марками: Э1, Э1А, Э1АБ, Э2, Э3, Э4, Э4А, Э4АА и др. Эти марки расшифровываются следующим образом: Э — электротехническая сталь, цифра указывает степень легирования, т. е. содержание кремния; так, 1 — слаболегированная, 2 — среднелегированная, 3 — повышеннолегированная, 4 — высоколегированная; А — с повышенным удельным сопротивлением, АА — с особо низкими удельными потерями, Б — с повышенной магнитной индукцией. В табл. 26 даются номинальные размеры листов выпускаемых сталей и их электрические и магнитные свойства. Величина магнитной индукции соответствует напряженности поля в 25, 50, 100 и 300 ампервитков на 1 *см*. P_{10} и P_{15} — удельные потери, измеренные при частоте 50 *гц* и значении индукции 10 000 *гс* (P_{10}) и 15 000 *гс* (P_{15}) в ваттах на 1 *кг* стали.

Теплопроводность низкокремнистой листовой электротехнической стали Э1—0,192 *вт/см° С*, высококремнистой — 0,07 *вт/см° С*. Механические прочность и твердость увеличиваются с возрастанием процентного содержания кремния. Так, прочность на разрыв стали марки Э1 — 35 *кГ/мм*²,

Таблица 26

Свойства и размеры листовой электротехнической стали, применяемой в области низких частот

Марки и наименование стали	Размер листа		Номинальная толщина листа, *мм*	Магнитная индукция, *гс*				Удельные потери, *вт* на 1 *кг* при 50 *гц*		Плотность, *г/см*³	Коэрцитивная сила, *эр*
	длина, *мм*	ширина, *мм*		B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{300}	P_{10}	P_{15}		
Э1	1 500	750	0,5 и 0,42	14 700	15 800	17 000	19 200	3,6	8,6	7,8	—
Э1А	1 500	750	0,5 и 0,42	15 000	16 200	17 500	19 700	3,3	7,9	7,8	1,0
Э1АБ	1 500	750	0,5 и 0,42	15 400	16 400	17 800	20 200	3,3	7,9	7,8	—
Э1АА	1 500	750	0,5 и 0,42	14 900	16 000	17 300	19 600	2,85	7,0	7,8	—
Э1ААБ	1 500	750	0,5 и 0,42	15 400	16 400	17 800	20 200	2,85	7,0	7,8	—
Э2	1 500	700	0,5 и 0,42	14 700	15 800	17 000	19 200	2,6	6,4	7,75	—
Э2Б	1 500	700	0,5 и 0,42	15 300	16 400	17 600	20 100	2,6	6,4	7,75	—
Э3	1 500	700	0,5 и 0,42	14 600	15 700	16 900	18 900	2,3	5,6	7,65	—
Э3А	1 500	700	0,5 и 0,42	14 600	15 700	16 900	18 900	2,0	4,7	7,65	0,55
Э3	1 500	700	0,35 и 0,3	14 600	15 700	16 900	18 900	2,0	4,2	7,65	—
Э3А	1 500	700	0,35 и 0,3	14 600	15 700	16 900	18 900	1,6	3,6	7,65	—
Э4	1 500	750	0,5 и 0,42	14 400	15 500	16 600	18 700	1,8	3,9	7,55	—
Э4А	1 500	750	0,5 и 0,42	14 400	15 500	16 600	18 700	1,6	3,6	7,55	0,45
Э4АА	1 500	750	0,5 и 0,42	14 400	15 500	16 600	18 700	1,45	3,3	7,55	—
Э4	1 500	750	0,35 и 0,3	14 400	15 500	16 600	18 700	1,45	3,4	7,55	—
З4А	1 500	750	0,35 и 0,3	14 400	15 500	16 600	18 700	1,3	3,2	7,55	0,45
Э4АА	1 500	750	0,35 и 0,3	14 400	15 500	16 600	18 700	1,2	2,9	7,55	0,4
ХВПс	Не стандартизированы			17 300	18 400	—	—	0,84	1,95	7,62	0,2
ХВПл	»	»		18 000	18 900	—	—	0,59	1,45	7,62	0,12
Гайперсил	»	»		17 500	18 300	19 500	19 900	0,6	1,5	—	—
Советское железо	»	»		16 500	17 500	18 500	20 000	—	—	—	0,7
Армко											

марки Э3 — 56 *кГ/мм*². С увеличением процентного содержания кремния, сталь становится менее пластичной, и если для марок Э1 и Э2 выдерживает вдоль проката 10 изгибов на 90°, то для марок Э3—6 изгибов и для марок Э4—1 изгиб. Для целей радиотехники применяют главным образом стали марок Э4А, Э4АА, имеющие минимальные потери. Стали этих марок применяют как для токов промышленной частоты 50—100 *гц*, так и звуковой частоты до 15 000 *гц*. Однако применение этих сталей для изготовления деталей, работающих в цепях звуковой частоты, приводит к громоздкости этих деталей. Для уменьшения габаритов аппаратуры выпускаются стали марок ХВП, ВП-1, ВП-2, ВП-3, ВПТ, гайперсил, ТП.

Гайперсил — листовая электротехническая сталь, содержащая 3,25% кремния, подвергающаяся специальной комбинированной прокатке и обжигу в водороде при 1 200° С с покрытием ленты перед отжигом специальными кислородосодержащими веществами. Применение гайперсила позволяет снизить намагничивающие ампервитки для данного значения индукции в 5—8 раз. Удельные потери гайперсила в два раза меньше потерь стали Э4АА.

Сталь ХВП (холоднотянутая, с высокой проницаемостью) типа гайперсил. Сталь ХВП характеризуется малыми потерями и высокими магнитными свойствами в слабых полях. Ее начальная магнитная проницаемость 500—800 *гс/эр*, а стали Э4АА — 400 *гс/эр*; максимальная магнитная проницаемость 16 000—33 000 *гс/эр*; стали Э4АА — 7 500 *гс/эр*. Применение стали ХВП при изготовлении радиотрансформаторов позволяет существенно уменьшить их габариты. Сталь ХВП выпускается двух марок: $ХВП_с$ — средняя и $ХВП_л$ — улучшенная.

Советское железо Армко, получаемое в мартеновских печах, имеет малое количество примесей, в сумме не более 0,16%. Его отжигают при 900—950° С.

Свойства советского железа Армко, листовых электротехнических сталей, гайперсила и стали ХВП приводятся в табл. 26. Помимо этих материалов, для радиотехнических деталей выпускают стали ВП и ВПТ. Они обладают высокими магнитными свойствами в слабых полях.

Сталь ВП (высокой проницаемостью) выпускается под марками ВП-1, ВП-2, и ВП-3 в виде листов, толщиной

0,3—0,35 *мм*. Потери в стали ВП-2 не превышают 1 *вт/кг* при индукции 10 000 *гс*; магнитная проницаемость при индукции 100 *гс* равна 2 200.

Сталь ВПТ (с высокой проницаемостью, тонкая) выпускается толщиной 0,1—0,2 *мм* в листах. Потери стали ВПТ при 50 *гц* 1 *вт/кг* для индукции 10 000 *гс*.

Электролитическое железо получают путем электролиза сернокислого или хлорного железа. Осажденное на катодах железо переплавляют в вакууме и отжигают. Электролитическое железо идет главным образом для изготовления магнитодиэлектриков. Оно имеет высокую индукцию насыщения (см. табл. 27).

Карбонильное железо получают путем разложения $Fe(CO)_5$ нагреванием до 200—250° С. Образующийся при разложении $Fe(CO)_5$ порошок чистого железа спекают в сплошную массу при температуре 1 000—1 200° С и прокатывают в листы. Карбонильное железо обладает высокой индукцией насыщения (см. табл. 27). Помимо листового карбонильного железа, на основе карбонильного железа изготовляют магнитодиэлектрики.

Пермендюр — сплав железа с кобальтом и ванадием — материал с большой индукцией в полях 20—300 *эр* и выше. Пермендюр выпускается в виде листов, полос и лент толщиной 0,2 ÷ 1,6 *мм* и прутков диаметром от 8 до 30 *мм*. Его применяют для производства электромагнитов, динамических репродукторов, в качестве мембран телефонов, работающих при слабом переменном токе, но при сильном подмагничивании постоянным током, так как в слабых полях свойства его невысоки (хуже, чем электростали).

Пермаллой — сплав железа и никеля, содержащий от 30 до 85% никеля. Лучшие сорта, как это видно из данных табл. 27, получаются при содержании никеля от 70 до 80%. Пермаллой хорошо обрабатывается и выпускается в виде листов. Его применяют как для постоянного тока, так и для токов звуковой частоты до 15 *кгц*.

Пермаллой обладает исключительно высокой магнитной проницаемостью в слабых полях, достигающей при специальной обработке 200 000. При постоянном токе пермаллой применяют в качестве сердечников реле, деталей измерительных приборов, в виде магнитных экранов и т. п. В области переменных токов пермаллой идет для изготовления

Таблица 27

Низкочастотные магнитно-мягкие материалы со специальными магнитными свойствами

Наименование	Характерные свойства	Начальная магнитная проницаемость, *гс/эр*	Максимальная магнитная проницаемость, *гс/эр*	Индукция насыщения, *гс*	Остаточная индукция, *гс*	Коэрцитивная сила, *эр*	Удельное объемное сопротивление, *ом·мм²/м*
Электролитическое железо	Материалы с высокой индукцией	500	15 000	23 000	10 500	0,36	0,1
Карбонильное железо		2 000÷3 300	20 000÷21 500	22 000	5 500÷6 000	0,08	0,1
Пермендюр (50%—Co; 1,8%—V)		1 100	4 000	22 500	12 500	1,8	0,18
Гиперник 50%—Ni	Сплавы с высокой проницаемостью в слабых полях	2 000÷3 200	50 000÷60 000	13 000	10 000	0,075	0,45
Пермаллой 66%—Ni		2 500÷3 700	13 000÷27 000	13 000	—	0,03	0,33
Пермаллой 78,5%—Ni		7 000÷14 000	100 000÷200 000	10 500	—	0,025	0,25
Пермаллой 72%—Ni 5%—Cu		10 200	56 000	10 400	—	0,042	0,2
Альсифер		20 000÷35 100	117 000	11 000	3 350	0,022	0,81
Мо-пермаллой		8 000÷15 000	130 000	8 500	6 000	0,05÷0,03	0,55
Медистый мо-пермаллой		20 000	50 000	5 000÷7 000	—	0,037	0,55
Муметалл		20 000÷6 000	40 000÷100 000	6 000	4 800	0,02÷0,03	0,45

сердечников трансформаторов и дросселей, работающих в слабых полях.

С увеличением частоты растут потери и уменьшается магнитная проницаемость пермаллоя. При частоте 15 000 *гц* величина его начальной магнитной проницаемости имеет такой же порядок, как у стали марки Э4АА. При сборке пакетов из пермаллоя, удары и опрессовка не допускаются, затяжка пакетов должна быть относительно слабой, так как пермаллой чувствителен к механическим напряжениям.

Гиперник — сплав 50% железа и 50% никеля, типа пермаллоя, но более дешевый, применяется там же, где пермаллой.

Мо-пермаллой содержит 78,5% никеля, 3,8% молибдена, остальное железо. В отличие от пермаллоя имеет повышенное удельное объемное сопротивление.

Медистый мо-пермаллой отличается высоким значением магнитной проницаемости и низкой остаточной индукцией.

Гиперник, мо-пермаллой и медистый мо-пермаллой выпускаются в виде листов, полос и лент толщиной от 0,01 до 0,3 *мм*, прутков диаметром 8 ÷ 30 *мм* и проволоки диаметром 0,5 ÷ 3 *мм*.

Альсифер — сплав алюминия, железа, силиция (кремния), содержащий до 13% алюминия и 15% кремния. Свойства альсифера резко меняются от состава. Лучшие магнитные свойства получаются при содержании 9,62% кремния и 5,38% алюминия. Сплавы альсифера хрупкие, твердые, и детали из них делают только путем фасонной отливки Возможна отливка деталей сложной формы, толщиной в несколько миллиметров. Из-за невозможности получения тонких листов альсифера в области повышенных частот он применяется только в виде магнитодиэлектриков. Литой альсифер применяют при постоянном токе в качестве магнитных экранов, корпусов приборов и т. п. Основное преимущество альсифера — отсутствие в составе его дефицитных металлов при наличии высокой магнитной проницаемости в слабых полях и большого удельного сопротивления.

Свойства низкочастотных специальных магнитно-мягких материалов приводятся в табл. 27.

В табл. 28 приведена зависимость от частоты начальной магнитной проницаемости некоторых магнитно-мягких материалов.

Таблица 28

Зависимость от частоты начальной магнитной проницаемости некоторых магнитно-мягких материалов

Частота, *гц*	Гиперник d[1]=0,35	Начальная магнитная проницаемость					
		Мо-пермаллой d = 0,36	сталь Э4А d = 0,35	сталь ВПТ d = 0,25	сталь ХВП d = 0,09	сталь ВП-2 d = 0,2	сталь Э4АА d = 0,37
0	1 600	8 000	—	—	970	530	550
500	—	—	260	450	—	—	—
1 000	—	—	260	430	—	—	—
2 000	1 200	2 000	—	—	960	490	440
5 000	—	—	220	400	—	—	—
30 000	380	590	180	390	810	400	280
15 000	260	470	—	—	740	370	205
50 000	210	—	70	220	—	—	70

[1] d—Толщина листа в миллиметрах.

2. МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАБОТАЮЩИЕ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ, — МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКИ

Магнитодиэлектрики — материалы, состоящие из зерен магнитного материала, изолированных друг от друга электроизолирующим веществом. Магнитодиэлектрики выпускают по типу керамики и пластмасс. Наиболее часто применяют пластмассовые магнитодиэлектрики. Для их изготовления берут тщательно измельченный порошок магнитного материала, отжигают его для удаления примесей и наклепа и смешивают с диэлектриком (как правило, с жидким лаком). Из полученной массы прессуют под давлением детали — сердечники трансформаторов, дросселей и т. п.

Другой способ изготовления магнитодиэлектриков представляет выработка феррокарта-железокартона. Для изготовления такого картона берут бумагу толщиной 10 ÷ 15 *мк* и пропускают ее через смесь железного порошка с диэлектриком (парафином).

Пропитанную таким образом бумагу складывают в стопку и спрессовывают. Детали из феррокартона обычно делают вырубкой.

Отличительными свойствами магнитодиэлектриков являются малые потери и постоянная величина магнитной проницаемости. Детали, изготовленные из магнитодиэлектриков, стабильны, т. е. их электрические параметры мало изменяются от изменения напряженности магнитного поля.

Малые потери позволяют применять их в области высоких частот. Ниже приводятся сведения о наиболее распространенных в радиотехнике магнитодиэлектриках.

Прэльфер делается из порошка электролитического железа, зерна которого диаметром порядка 150 ч. покрывают окисью цинка, а затем шеллаком. Детали прессуются под давлением 9—10 *т/см²*. Прэльфер выпускают для низких частот (тональных частот) под маркой ТЧ-30. Цифра 30 означает величину магнитной проницаемости.

Радиофер получают из порошка электролитического железа, зерна которого подвергаются многослойной изоляции бакелитовой смолой. Прессование ведется в горячих прессформах под давлением 6 *т/см²*. В радиофере порошок железа более мелкий, чем в прэльфере. Радиофер применяется в области высоких частот.

Прессперм изготовляют из порошка пермаллоя, смешанного с теплостойкой изоляцией, спрессованного и отожженного в специальных печах. Прессперм выпускается под марками: ТЧ-180, ТЧ-80, ВЧ-30, ВЧ-20. Марки ТЧ применяются для низких частот, марки ВЧ — для более высоких частот.

Альсифер — материал, получаемый на основе порошка альсифера, содержащего 9% кремния и 7,5% алюминия. Альсифер выпускается для различных областей частот под марками: ТЧ-60, ВЧ-30, ВЧ-20, РЧ-9, РЧ-6 и ФИ. С повышением рабочей частоты уменьшается величина зерна порошка альсифера и улучшается качество электроизолирующего материала. Особенный интерес представляют альсиферы РЧ-6 и РЧ-9, отличающиеся большой механической прочностью, хорошо обрабатывающиеся, магнитная проницаемость которых не изменяется вплоть до предельной частоты. Добротность деталей из альсифера РЧ-6 и РЧ-9 весьма велика. Альсифер РЧ-6 предназначен для работы на частотах до 40 *мгц*, а альсифер РЧ-9—до 10 *мгц*. Альсифер ФИ предназначен для изготовления сердечников ферроиндукторов (катушек индуктивности, индуктивность которых меняется путем перемещения сердечника), работающих при частотах до 10^6 *гц*.

Прессованный магнетит делают на основе минерала магнетита $FeO \cdot Fe_2O_3$, имеющего большое удельное объемное сопротивление — 1 *ом.см*. Магнетит добывается в виде кристаллов кубической формы, которые дробят, смешивают с бакелитовой смолой и прессуют с нагре-

Таблица 29

Свойства магнитодиэлектриков
(по данным Я. И. Рабкина)

Наименование материала	Для какой области частот предназначен	Начальная магнитная проницаемость, *гс/эр*	Коэффициент потерь на гистерезис *Н•1эр*	Коэффициент потерь на токи Фуко	Коэффициент потерь на последействие	Стабильность за первый год, %	Температурный коэффициент магнитной проницаемости ТК$\mu \cdot 10^{-5}$ 1/°C	Коэффициент амплитудной нелинейности *1/эр*	Область применения
Прессперм ТЧ-180 (прессованный пермаллой)	До 10 *кгц*	180±10	$12 \cdot 10^{-3}$	$1\,400 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	−0,2	+40	0,028	Катушки тональных фильтров, тональных генераторов, телефонных усилителей
Прэльфер ТЧ-30 (прессованное электролитическое железо)	До 10 *кгц*	30±2	$6 \cdot 10^{-3}$	$750 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	−1÷−2	+40	0,014	То же
Прессперм ТЧ-80	„ 10 „	80±5	$6 \cdot 10^{-3}$	$600 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	−0,2	+40	0,014	Выходные трансформаторы и т. п.
Альсифер ТЧ-60	„ 10 „	60±5	$4 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	−0,5	−40	0,010	
Прессперм ВЧ-30	От 10 до 50 *кгц*	32±2	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	−0,2	+30	0,004	Контурные катушки одно- и трехканальных систем и т. п.
Альсифер ВЧ-30	От 10 до 50 *кгц*	32±2	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	−0,5	−30	0,004	
Прессперм ВЧ-20	От 50 до 150 *кгц*	19±2	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	−0,2	+20	0,0025	Катушки кварцевых фильтров и т. п
Альсифер	От 50 до 150 *кгц*	19±2	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	−0,5	−20	0,0025	
Альсифер ФИ	150 *кгц* 10^6 *гц*	22±3	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	—	—	0,007	Катушки: радиочастотных фильтров, контурные, промежуточной частоты. Дроссели радиоприемников. Высокочастотные трансформаторы, подстроечники и сердечники различных типов. Ферроиндукторные катушки радиоприемников
Радиофер	До 10^6 *гц*	8±1	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$	−0,5	+10	0,0025	
Прессованный магнетит	„ 10 »	6÷9	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-9}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	−3÷−10	+125	0,0025	
Альсифер РЧ-9	До 10^7 *гц*	9±1	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	—	−10	0,0015	
Прессованное карбонильное железо	До $10^6 \div 10^7$ *гц*	8÷9	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	—	+10	0,001	

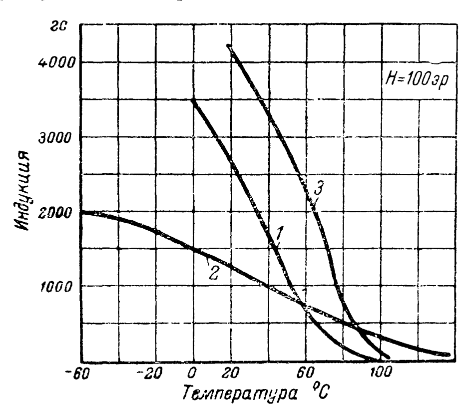
вом для перевода смолы из стадии А в стадию С. Благодаря большому удельному сопротивлению зерна порошка в прессованном магнетите крупные, диаметром порядка 0,4—0,5 *мм*. Прессованный магнетит очень прочный, но не стабильный во времени материал. Его применяют при частотах до 10^6 *гц*.

Прессованное карбонильное железо получают из порошка карбонильного железа, размер зерен которого 0,5—10 μ, как феррокартным способом, так и прессованием с бакелитом, полистиролом или аминопластами. Для понижения потерь на гистерезис порошок карбонильного железа подвергают азотированию, для чего в нем растворяют несколько десятых процента азота.

Свойства магнитодиэлектриков приводятся в табл. 29.

3. ТЕРМОМАГНИТНЫЕ СПЛАВЫ

Термомагнитными называются сплавы, у которых резко изменяется величина магнитной проницаемости с изменением температуры. Их применяют для компенсации темпе-



Фиг. 14. Изменение индукции термомагнитных сплавов от изменения температуры.

ратурной погрешности различных магнитоэлектрических приборов, катушек тахометров и спидометров, дисков в счетчиках и т. п. Такими материалами являются следующие три сплава: кальмаллой, термаллой и железо-никель-хромовый сплав.

Кальмаллой — сплав, содержащий 60% никеля и 40% меди или 70% никеля и 30% меди. Кальмаллой, содержащий 30% меди, компенсирует температурную погрешность в интервале температур от +20 до +80° С, а при 40% меди — в интервале от —50 до —10° С. Это — пластичный и обратимый сплав, недостатком которого является низкая индукция, почему для компенсации температурной погрешности требуются громоздкие шунты.

Термаллой — сплав железа с 30% никеля. Магнитная проницаемость термаллоя зависит от состава и наличия следов кремния. Основной недостаток термаллоя — необратимость после охлаждения до —65° С, когда он теряет свои термомагнитные свойства.

Железо-никель-хромовый сплав содержит 35% никеля, 8 ÷ 13% хрома, остальное железо. Лучший из имеющихся сплавов. Зависимость индукции разобранных выше термомагнитных сплавов от температуры, снятая при напряженности поля 100 *эр*, показана на фиг. 14, где кривая *1* относится к термаллою, *2* — к тридцатипроцентному кальмаллою и *3* — к железо-никель-хромовому сплаву.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ
НЕМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для стяжки и крепления сердечников трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности необходимо применять немагнитные материалы.

Немагнитные материалы должны иметь магнитную проницаемость не более 1,05 ÷ 1,5 *гс/эр*. К таким материалам относятся латунь, бронза, алюминий, медь, но все они обладают недостаточно высокой механической прочностью и в значительной степени дефицитны. Их можно заменить немагнитными сталями или, в некоторых случаях, чугуном. Наиболее распространенной немагнитной сталью является сталь, содержащая 25% никеля. Можно также применять нержавеющие стали марок ЭЯ1, ЭЯ2, ЭЯ1-Т или хромомарганцево-никелевые сплавы, содержащие до 8% марганца, 12% никеля и 19% хрома.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ
КЛЕИ

Карбинольный клей разработан лауреатом Сталинской премии проф. Назаровым. Он представляет собой прозрачную жидкость, которая может сохраняться в темном, прохладном месте в течение полугода. Для ускорения процесса схватывания в карбинольный клей перед употреблением добавляют $1 \div 2\%$ азотной кислоты (плотностью 1,35—1,4 *г/см*^{3}) или 2—3% перекиси бензоила. После добавления перекиси бензоила клей пригоден к употреблению в течение 2—3 часов; склеенная деталь полностью готова к работе после 24 часов вылеживания. При клейке с азотной кислотой клей затвердевает за 3—5 часов. Прочная склейка получается при сушке в условиях $20 \pm 5°$ С. Сушка при высокой температуре дает непрочную склейку. Карбинольным клеем можно склеивать самые разнообразные материалы: стекло, мрамор, фарфор, бумагу, картон, пластмассы и металлы. Механическая прочность на сдвиг склеенных металлических деталей $200 \div 250$ *кГ/см*^{2}, деталей из пластмасс — $80 \div 200$ *кГ/см*^{2}. Помимо чистого клея, для склейки применяют клей-цемент, состоящий из клея и муки того изделия, которое приходится склеивать. Прочность на разрыв клея-цемента 180 *кГ/см*^{2}, чистого клея — 250 *кГ/см*^{2}. Карбинольный клей пригоден для склейки деталей, работающих при температуре от —40° С до +70° С. Склеиваемые поверхности должны плотно прилегать друг к другу и надежно очищаться от грязи, жира и щелочи.

Глютиновые клеи — мездровые (ГОСТ 3256—46) и костные (ГОСТ 2067—47). Делаются из подкожного слоя костей, сухожилий и хрящей животных путем вываривания. В розничной торговле они идут под названием желатина или столярного клея и выпускаются плитками толщиной от 3 до 15 *мм* или в дробленом виде. Глютиновые клеи

выпускаются следующих сортов: экстра, высший, первый, второй и третий. При приготовлении рабочих растворов клея берут на 1 часть сухого клея, 2 части воды по объему и оставляют для набухания на 12 часов. Далее раствор нагревают до 80° С равномерно помешивая. Количество клея приготовляют из расчета 1—2 дней потребления. Густоту клея меняют, в зависимости от требования производства, добавлением воды. Глютиновые клеи применяются для склейки дерева. Недостаток их — склонность к загниванию.

Казеиновый клей — обезжиренный сушеный творог, обработанный щелочами или окисями, широко применяется для склейки деревянных частей.

Казеиновый клей выпускается в виде порошка двух сортов — обыкновенный и экстра. Для приготовления клея порошок засыпают в воду и размешивают в течение 1 часа до получения сметанообразной массы. На одну часть порошка берут 1,7—2,3 части воды по весу. Клей годен к употреблению в течение 4—6 часов, поэтому его не следует разводить в большом количестве. Казеиновый клей гигроскопичен, поэтому изделия, склеенные им для работы в сырых помещениях непригодны, так как место склейки загнивает, плесневеет и разрушается.

Клей для плексигласа (органического стекла) получается путем растворения 0,5% плексигласа в смеси 50—60% ацетона и 40—50% этилацетата. Перед склейкой плексиглас следует нагревать до 40° С.

Клеи из нитроцеллюлозы, представляющие растворы нитроцеллюлозы в растворителях, применяются для склеивания тканей, картона, целлулоида, кожи и для приклеивания материи к дереву, например, для оклейки ящиков радиоаппаратуры дерматином, сукном, кожей и т. п. Для этих целей отечественная промышленность выпускает в готовом для употребления виде нитроцеллюлозные клеи следующих марок: АК-20, АГО, стабилин. Запрессовка при склеивании не требуется. Время сушки — от 18 до 24 часов. Расход клея 100—120 *г/м²*.

Клей БФ получается из ацеталевых смол и выпускается под марками: БФ-2, БФ-4, БФ-6. Клей БФ применяется для склеивания алюминия, меди, стали, пластмасс из бакелитовой смолы, керамики, дерева, бумаги, картона, тканей и т. п. Клей марки БФ-2 предназначается для теплостойких швов, клей марки БФ-4 — для эластичных швов, клей мар-

ки БФ-6 — для склейки тканей. Склеиваемые поверхности очищаются от жира бензином, ацетоном, спиртом и т. п. растворителями. Для затвердения клея и полного его схватывания со склеиваемыми поверхностями место склейки прогревают при температуре 140—150° С в течение 25—30 мин. Склеиваемые ткани можно проглаживать утюгом. Прочность склейки очень высокая.

Крахмальный клей применяют для склеивания древесины, бумаги, картона. При изготовлении крахмального клея 100 весовых частей крахмала и от 1 до 4 частей каустической соды разводяг в 120—350 частях воды. Затем нагревают при помешивании до 65—66° С, до окрашивания в янтарный цвет. Склейка на крахмальном клее невлагостойкая и имеет среднюю механическую прочность. Клей жизнеспособен двое суток.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ
ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

По составу и способу производства лакокрасочные материалы, применяемые для отделки различной радиоаппаратуры, аналогичны электроизоляционным лакам. Лакокрасочные покрытия бывают двух видов: прозрачные, сохраняющие рисунок лакируемого изделия, и закрывающие рисунок лакируемого изделия. Покрытия, сохраняющие рисунок, обычно применяются для отделки деревянных изделий, не сохраняющие рисунок — для покрытия металлических изделий и изделий из низкосортного дерева. Перед нанесением слоя лака древесину обычно окрашивают и грунтуют. Грунт применяют для заполнения пор с целью уменьшения расхода лака как при прозрачных, так и при непрозрачных покрытиях. Если лакируемая поверхность очень неровная, ее покрывают слоем шпатлевки поверх грунта и затем наносят слой лака или краски.

1. КРАСИТЕЛИ

Ореховая морилка получается из различных сортов угля и имеет цвет от коричневого до бурого. Это наиболее распространенное для окраски дерева вещество. Окраска производится раствором морилки в воде. Морилка — краситель устойчивый к воздействию света, но довольно легко смывается водой.

2. ГРУНТЫ

Грунты делятся на малярные, применяемые для подготовки поверхности под непрозрачные покрытия, и столярные, применяемые перед покрытием прозрачными лаками. Лакокрасочная промышленность выпускает следующие грунты:

Грунт № 138-а малярный, состоящий из талька, мумии, железного сурика, свинцового кропа, затертый на глифталевом лаке. Грунт № 138-а предназначен для металла и дерева. При 80° С он сохнет — 1 ÷ 1½ часа, при 20° С — 12 часов.

Грунты столярные, согласно ГОСТ 3180, выпускаются бесцветные, под дуб, под ореховое дерево и под красное дерево. Они содержат 12 ÷ 14% масляного лака, 4 ÷ 6% скипидара, 80% тяжелого шпата и, за исключением бесцветного, краситель. Грунт под дуб содержит 4% охры, под орех — 1,5% охры и 0,5% умбры, под красное дерево — 2% пигмента паратонер К.

Грунт ДД-113 нитроцеллюлозный (Технические условия ХП-717—41), столярный желтого цвета. При 18—23° С сохнет 90 мин.

3. ШПАТЛЕВКИ

Масляные шпатлевки — наиболее прочные и водостойкие, но долго сохнущие. Для их изготовления берут 750 весовых частей мела, 270 весовых частей олифы и смешивают с 50 весовыми частями клеевого раствора. Для уменьшения густоты увеличивают содержание олифы и клеевого раствора.

Лаковые шпатлевки содержат 51,2% — мела; 5,8% — тяжелого шпата; 17,5% — пигмента; 2,5% — воды; 23% — подмазочного лака. Лаковая шпатлевка сохнет быстрее масляной.

МБШ, АШ-24, АШ-30, АШ-32—нитрошпатлевки светлого цвета, высыхаюшие в течение 2—3 часов.

4. ЛАКИ И ПОЛИТУРЫ

Шеллачный лак представляет собой раствор шеллака в спирте, поэтому иногда называется спиртовым лаком. Один из лучших лаков для отделки дерева. Красный шеллачный лак состоит из 25% шеллака; 4,5% красного аккароида; 7,9% канифоли; 62,6% этилового спирта-сырца. Желтый шеллачный лак содержит 23% шеллака; 73% этилового спирта-сырца; 4% желтого аккароида.

Шеллачная политура содержит 11% шеллака, остальное — спирт-сырец. Выпускается под следующими номерами: № 13 — мутная, нефильтрованная; № 14 — светлая, профильтрованная от воска; № 15 — красная, и № 16 — черная, подкрашенная органическими красителями.

Идитольные лаки состоят из 26,5% идитольной смолы, 4,5% канифоли, 69% этилового спирта. Идитольные лаки сохнут медленнее шеллачных и ниже их качеством.

Идитольная политура содержит не менее 10% идитола и выпускается под номерами: № 14 — светлая, № 15 — красная, № 16 — черная.

Нитроцеллюлозные лаки применяются для лакировки металлических частей и дерева. Они содержат от 10 до 40% пленкообразующего вещества (смесь нитроцеллюлозы, смолы и пластификатора) и 90—60% растворителя (ацетон, этилацетат, метилацетат). При 20° С пленка нитроцеллюлозного лака высыхает за 15—20 мин. Нитролаки для дерева выпускаются под номерами: № 940 — бесцветный, № 754 — нитроглифталевый, № 930 — бесцветный для имитации. Эти лаки наносятся распылением и для нанесения кистью непригодны. Для лакировки изделий томпоном выпускают нитролак и политуру ВК-1.

Масляные лаки состоят почти целиком из смол, высыхающих масел, в которые для ускорения процесса сушки добавляют сиккативы и растворители. Масляные лаки выпускаются под номерами: 1/23; 2; 3; 4; 4А; 5; 5А; 5Б; 6; 6А; 7; 7А; 8. Для отделки радиоаппаратуры лучше всего применять номера: 4; 4А; 5; 5А; 5Б. Для светлых окрасок применяется лак № 4, остальные — для темных. Полное высыхание этих лаков при температуре 20±5° С происходит по истечении 48—72 часов.

5. КРАСКИ

Красками называются механические смеси тонко измельченных красящих веществ с пленкообразующими материалами (лаками).

Масляные эмалевые краски общего употребления (ГОСТ 64—40) готовятся на масляных и глифталевых лаках и предназначены для окраски предметов, работающих внутри помещений. Полное высыхание пленки эмали при 20° С наступает по истечении не более 72 часов.

Нитроэмали для мебели ДМБ/ВТУ 1636—47 выпускаются коричневого, бежевого и кремового цвета. Срок высыхания при 20° С 1 час. Для отделки радиоаппаратуры применяют трескающиеся эмали, изготовляемые из высоковязкой нитроцеллюлозы, способной давать значительную усадку, вследствие чего при высыхании пленка растрескивается, обнаруживая цветной грунт.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ
ЗАМАЗКИ

Замазками называются высокопластичные смеси клеящих или схватывающихся с наполнителем материалов, применяемые для крепления арматуры различных деталей, для заделки высверленных отверстий, отщипов, червоточин и других дефектов в деревянных и металлических конструкциях. Замазки бывают твердые, наносимые в расплавленном состоянии, и пастообразные.

Ангидритовая пастообразная замазка применяется для армирования опорных изоляторов, работающих внутри помещения. Для ее изготовления берут 1 *кг* ангидритового цемента и 300—400 *см*³ горячего раствора солей сернокислого аммония и сернокислого глинозема в воде (с удельным весом 1,1) в соотношении 1:1. Замазка схватывается в течение 20 мин., но для полного затвердевания требуется 24 часа. Ангидритовая замазка не стойка в отношении воды и трансформаторного масла.

Глет — глицериновая пастообразная замазка, быстро схватывающая, применяется при срочных ремонтах. Ее можно изготовлять в густом и жидком виде. Для густой замазки 120 *г* (44 *см*³) глета смешивают с 26 *г* (21 *см*³) глицерина. Для жидкой замазки количество глицерина увеличивают до 44 *г* (36 *см*³). Глет-глицериновые замазки схватываются за 30—50 мин., а для полного их затвердения требуется 24 часа.

Карбинольные пастообразные замазки делают из 50—60% карбинольного клея и 50—40% наполнителя. Наполнителем при заделке дерева служит древесная мука, при заделке мрамора — мраморная мука, при заделке фарфора — фарфоровая мука и т. д. Например, для заделки дерева замазку составляют из 59,5% карбинольного клея и 40,5% древесной муки № 20—24. Такая замаз-

ка окрашивается во все цвета, обладает высокой механической прочностью и водоустойчивостью.

Канифольная твердая замазка получается путем сплавления 60% канифоли с 10% древесной муки и 30% цинковых белил. Ее применяют в расплавленном виде для заделки дерева.

Портланд-цементная замазка применяется для крепления металлических частей в подвесных, опорных и проходных изоляторах, работающих вне помещений. Для предварительного крепления замазку составляют из 1 части (по весу) портланд-цемента марки 400—600, 1,5 частей песка и 0,3—0,4 частей воды. Замазка для заливки составляется из 3 частей цемента, 1 части воды и 1 части песка. Схватывание цемента в паровой камере происходит за 24 часа, в работу изоляторы можно пускать по истечении 5 суток. Если схватывание цемента идет под обычным влажным покровом, то необходима выдержка в 48 часов, и в работу изоляторы могут поступать по истечении 7—15 суток.

Целлюлоидные (НИИФ) пастообразные замазки применяются для заделки дерева. Для их изготовления берут 60 весовых частей древесной муки и 100 весовых частей целлюлоида, растворенных в 350 частях ацетона, и смешивают. Паста быстро высыхает, окрашивается во все цвета и имеет высокую водоустойчивость.

Кроме приведенных выше замазок, для крепления и заливки различных изделий в керамике применяют расплавленную серу, которая имеет высокие изоляционные свойства и является высокочастотным электроизолирующим материалом.

ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ СПРАВОЧНИКА

1. А. С. Займовский и В. В. Усов, Металлы и сплавы в электротехнике, Госэнергоиздат, 1949.
2. Н. П. Богородицкий и И. Д. Фридберг, Высокочастотные неорганические диэлектрики, Изд. Советское радио, 1948.
3. Ю. В. Корицкий и Б. М. Тареев, Справочник по электрической изоляции, Госэнергоиздат, 1948.
4. Л. И. Рабкин и Н. Н. Шольц, Магнитодиэлектрики и феррокатушки, Госэнергоиздат, 1948.

5. С. А. Ямaнов и С. А Смирнов, Справочник по изоляционным материалам для радиопромышленности, Госэнергоиздат, 1947.
6. И. Я. Ярославский и Г. С. Бильгильдеев, Производство слоистой изоляции, Госэнергоиздат, 1941.
7. А. Ф. Иоффе, Электронные полупроводники, ГТТИ, 1933.
8. Б. М. Буглай, Материаловедение деревообрабатывающих производств, Гослесбумиздат, 1949.
9. Б. М. Тареев (ред.), Электроматериаловедение, Госэнергоиздат, 1940.
10. Н. Ф. Волощенко и А. М. Санкевич, Справочник по электроизоляционным, проводниковым и магнитным материалам. Изд. Краснознаменной ордена Ленина военно-воздушной инженерной академии им. Проф. Н. Е. Жуковского, 1947.
11. М. В. Хомяков (ред.), Электротехнический справочник, Госэнергоиздат, 1946.
12. Б. А. Пионтковский, Б. С. Комаров, И. А. Казаринов и др., Инженерно-технический справочник по электросвязи, т. VI, Электропитание, Связьиздат, 1948.
13. Л. К. Мартенс (ред.), Техническая энциклопедия, ОНТИ, 1938.
14. Г. И. Рабчинская, Электроматериалы связи, Связьиздат, 1947.
15. А. В. Шубников, Кварц и его применение, Изд. Академии наук СССР, 1940.
16. К. А. Андрианов и С. А. Яманов, Органические диэлектрики и их применение в промышленности средств связи, Госэнергоиздат, 1949.
17. Н. П. Богородицкий, Высокочастотные диэлектрики, Связьрадиоиздат, 1938.
18. Г. С. Петров, Б. Н. Рутовский, И. П. Лосев, Технология синтетических смол и пластических масс, Госхимиздат, 1946.
19. Б. М. Тареев, Электротехнические материалы, Госэнергоиздат, 1947.
20. Б. Коломиец, Термисторы, Электричество, № 3, 1947.
21. Я. П. Селисский и Г. А. Матвеев, Магнитная проницаемость некоторых материалов в слабых полях звуковой и надзвуковой частоты, Электричество, № 9, 1948.
22. В. Г. Комар, Селеновые выпрямители, Электричество, № 2, 1947.
23. З. И. Модель и И. Х. Невяжский, Радиопередающие устройства, Связьиздат, 1949.

СОДЕРЖАНИЕ

Продолжение

ПРИПОИ

Марка	Расшифровка марки	Примерный химический состав	Область применения
ПОСС-4-6	Припой оловянно-свинцово-сурьмянистый	Sn = 3—4%, Sb = 5—6%, остальное Pb	Пайка белой жести, железа, латуни меди, свинца при наличии клепаных замочных швов, для выравнивания сварных швов, вмятин и т. п.
ПМЦ-36	Припой медно-цинковый, меди 36%	Cu = 36±2%, остальное Zn	Пайка латуни, содержащей до 68% меди
ПМЦ-48	Припой медно-цинковый, меди 48%	Cu = 48±2%, остальное Zn	Пайка медных сплавов, содержащих меди свыше 68%
ПМЦ-54	Припой медно-цинковый, меди 54%	Cu = 54±2%, остальное Zn	Для пайки меди томпака бронзы и стали
№ 1	Припой цинково-оловянный с примесью кадмия	Zn = 25%, Sn = 55%, Cd = 20%	Припой для пайки алюминия
№ 2	То же	Zn = 25%, Sn = 40%, Al = 15%, Cd = 20%	То же
№ 3	» »	Zn = 8%, Sn = 78%, Al = 9%, Cd = 5%	» »
№ 4	» »	Zn = 30,2%, Sn = 35,2, Pb = 34,6%	» »
№ 5	» »	Zn = 18%, Sn = 63%, Al = 13%, Cu = 3%, Pb = 1%, Sn = 2%	» »

Цена 3 р. 50 к.